ISSN 0388－841 X

南西海区水産研究所研究報告

第 29 号

水産庁南西海区水産研究所

広島県大野町

1996年 3 月

南西水研研報（Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.），No.29：1-100（1996）

南西海区水産研究所研究報告

第 29 号

目　　次

南西水研研報 (Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.), No.29 : 1-18 (1996)

Deepwater Caridean Shrimps of the Families Nematocarcinidae, Stylodactylidae, Pandalidae and Crangonidae (Crustacea: Decapoda) from Western Australia

Yukio Hanamura and David R. Evans

This paper reports on 20 species of deepwater caridean shrimps of the families Nematocarcinidae, Stylodactylidae, Pandalidae and Crangonidae collected from Western Australia. Among them, six species are new to the Australian fauna including, *Nematocarcinus productus, N. tenuirostris, Stylodactylus licinus, Heterocarpus longirostris, H. tricarinatus,* and *Parapontophilus gracilis junceus.*

Key words: Crustacea, Decapoda, Caridea, Namatocarcinidae, Stylodactylidae, Pandalidae, Crangonidae, W Australia.

Over the past ten years, the CSIRO Division of Fisheries has conducted exploratory surveys of the deepwater fauna of Western Australia which have produced several interesting crustacean collections. Part of the survey results, in particular those from a cruise in 1991 by the CSIRO research vessel FRV *Southern Surveyor*, were recently published in our first paper in this series which reported on 19 species of the caridean families Oplophoridae and Pasiphaeidae from the area, and on a lophogastridan mysid (Mysidacea), included as an appendix (Hanamura and Evans 1994). This paper, the second in the series, reports on 20 species of the caridean families Nematocarcinidae, Stylodactylidae, Pandalidae, and Crangonidae, and provides keys to species, including those previously recorded from Western Australia. Each species is accounted for systematically except for those listed in parentheses, which are well documented in earlier literature. The general survey and collection details outlined in our first paper apply here also.

Most of the specimens used in this study are deposited in the CSIRO Division of Fisheries in Hobart, Tasmania. A few are at the Northern Territory Museum of Arts and Sciences (NTM) in Darwin.

Carapace length (cl; mm) is used as standard for all species and is measured between the orbital and posterodorsal margins of the carapace.

SYSTEMATIC ACCOUNT

Family Nematocarcinidae
Genus *Nematocarcinus* A. Milne Edwards

Key to the species of *Nematocarcinus* of Western Australia

1. Rostrum extending distinctly beyond end of antennular peduncle ························2
- Rostrum not reaching end of antennular peduncle ···3
2. Dorsal teeth on rostrum proper with 3-6 more widely spaced than others; ventral margin of 6th abdominal somite with tuberculate swelling near posterior end ·· ··································*N. tenuirostris*

- Dorsal teeth of rostrum proper equally spaced; ventral margin of 6th abdominal somite without noticeable tuberculate swelling near posterior end ···*N. productus*
3. Dorsal rostral teeth closely but subequally spaced ································*N. gracilis*
- Dorsal rostral teeth increasingly widely spaced anteriorly·············*N. undulatipes*

Nematocarcinus gracilis Bate, 1888

Nematocarcinus gracilis Bate, 1888: 815, pl. 132, fig. 8; De Man, 1920: 90, pl. 8, fig. 21a-h, pl. 9, fig. 21; Chace, 1986: 71, fig. 38; Burukovsky, 1991: 44.

Occurrence. — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 94, 34° 57.3'S, 114° 29.0'E, 900-958 m, 18 Feb. 1991, 1 female (19.9 mm in cl).

Distinguishing features. — Rostrum nearly straight, reaching end of 2nd antennular peduncle segment, armed dorsally with 23 movable, closely spaced teeth, and ventrally with single tooth near distal end. Cervical groove deep at midpoint of carapace. Dorsal margin of 3rd abdominal somite slightly produced posteriorly. Pleuron of 5th somite with small, sharp posteroventral spine. Sixth abdominal somite slightly more than twice as long as 5th; ventral margin smooth, without noticeable tuberculate swelling near posterior end.

Distribution. — Indo-West Pacific. Previously recorded in Australia from the eastern coast (Kensley *et al.* 1987).

Nematocarcinus productus Bate, 1888
(Fig. 1)

Nematocarcinus productus Bate, 1888: 810, pl. 132, fig. 5; Chace, 1986: 72, fig. 39; Allen & Butler, 1994: 430.

Nematocarcinus ensifer var. *producta*: De Man, 1920: 76, pl. 8, figs. 18, 18a.

Occurrence. — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 92, 34° 12.8'S, 114° 07.7'E, 1225-1240 m, 17 Feb. 1991, 1 ovig. female (25.5 mm).

Distinguishing features. — Rostrum (Fig. 1) nearly straight, directed slightly upwards and extending distinctly beyond end of antennular peduncle, armed dorsally with at least 25 teeth, the basal 14 of which being closely spaced including 8 posterior to orbital margin. Dorsal margin of 3rd abdominal somite slightly produced posteriorly. Pleuron of 5th somite with small, sharp posteroventral spine. Sixth somite 2.28 times as long as 5th, ventral margin without tuberculate swelling near posterior end. Telson slightly shorter than 6th somite, armed with 4 (right), and 6 (left) dorsolateral spines.

Remarks. — Although the rostrum of the specimen examined is broken off distally, the shape and spination of the remaining part (Fig. 1), are similar to those of *N. productus*

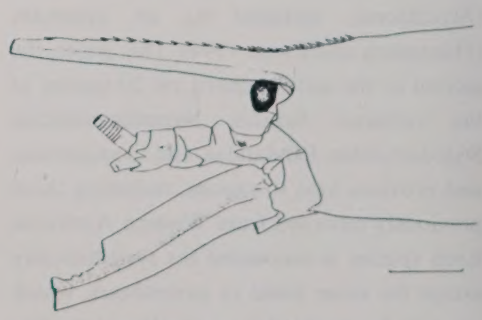


Fig. 1. *Nematocarcinus productus* Bate, 1888, ovig. female cl 25.5 mm: anterior part of body. Scale represents 5 mm.

Bate, 1888, *N. tenuipes* Bate, 1888, and *N. intermedius* Bate, 1888. Chace (1986) suggested the latter two species to be junior synonyms of the former, whereas Burukovsky (1991) appears to have considered all three species to be distinct, differentiating the latter two by variation in rostral spination. Although there remains some doubt about whether *N. tenuipes* and *N. intermedius* are indeed variations of a polymorphic *N. productus*, the specimen described here is allocated to *N. productus*. Further collections of Western Australian specimens are required to clarify their true identity.

Distribution. — The Philippine-Indonesian region, Mid-Pacific Mountains.

Nematocarcinus tenuirostris Bate, 1888

Nematocarcinus tenuirostris Bate, 1888: 817, pl. 132, fig. 10; Chace, 1986: 74, fig. 40; Burukovsky, 1991: 44, fig. 2 (5-7).

Nematocarcinus tenuirostris var. *sibogae*: De Man, 1920: 79, pl. 8, fig. 19-19d.

Occurrence: — FV "Territory Pearl": - Stn. S8, 13° 17'S, 122° 21'E, 600-740 m, 25 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 ovig. female (30.4 mm) (NTM Cr 07192); - Stn. C1, 29° 05'S, 113° 41'E, 880 m, 25 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 ovig. female (?) (NTM Cr 007187). — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 2, 20° 16.5'S, 113° 13.5'E, 913-914 m, 23 Jan. 1991, 11 males (20.2-25.3 mm), 5 females (19.3-23.1 mm), 16 ovig. females (24.0-27.0 mm), 1 ex (?); - Stn. 11, 21° 54.1'N, 113° 40.7'E, 1100-1158 m, 24 Jan. 1991, 4 ovig. females (27.3-29.8 mm); - Stn. 20, 23° 44.8'S, 112° 35.3'E, 612-623 m, 26 Jan. 1991, 3 males (23.4-26.1 mm), 1 female (30.1 mm), 1 ovig. female (27.6 mm), 1 ex (?); - Stn. 22, 23° 59.5'S, 111° 54.1'E, 1061-1071 m, 27 Jan. 1991, 4 ovig. females (27.1-28.5 mm); - Stn. 23, 24° 09.6'S, 111° 39.5'E, 1293-1320 m, 27 Jan. 1991, 1 male (29.5 mm), 1 female (?), 1 ovig. female (29.8 mm); - Stn. 24, 24° 30.2'S, 111° 50.9'E, 892-905 m, 28 Jan. 1991, 1 ovig. female (ca. 23.5 mm); - Stn. 32, 25° 41.2'S, 111° 30.9'E, 1115-1125 m, 29 Jan. 1991, 3 males (24.0-25. 1 mm); - Stn. 35, 26° 05.9'S, 111° 46.7'E, 874-882 m, 30 Jan. 1991, 1 female (22.9 mm), 2 ovig. females (27.1, 28.1 mm); - Stn. 47, 27° 32.8'S, 112° 15.2'E, 998-1009 m, 31 Jan. 1991, 1 male (26.5 mm), 1 ovig. female (26.7 mm), 1 ex (27.9 mm).

Distinguishing features. — Rostrum nearly straight or slightly curved dorsally and extending distinctly beyond end of antennular peduncle, armed dorsally with 8-11 teeth, sparcely distributed anteriorly including 3-6 posterior to orbital margin, and ventrally with a single tooth slightly anterior to distal tooth of dorsal series. Dorsal margin of 3rd abdominal somite slightly produced posteriorly. Pleuron of 5th somite with small, sharp posteroventral spine. Sixth somite 2.11-2.25 times as long as 5th, ventral margin with tuberculate swelling near posterior end. Telson 1.05-1.17 times as long as 6th somite, armed with 7-9 dorsolateral spines on each side.

Remarks. — The tuberculate swelling situated near the posterior end of the 6th abdominal somite is well developed in the material examined, and appears to be a reliable feature to distinguish this species from *N. undulatipes* and other *Nematocarcinus* species from Western Australia.

Distribution. — Indo-West Pacific. New to the Australian fauna.

Nematocarcinus undulatipes Bate, 1888

Nematocarcinus undulatipes Bate, 1888: 801, pl. 130; De Man, 1920: 83, pl. 8, fig. 20-20h; Chace, 1986: 76, figs. 41, 42; Hayashi, 1986: 91, 256, fig. 51; Burukovsky, 1991: 44; Takeda & Hanamura, 1994: 15, figs. 6, 7a,b, d-f,e.

Occurrence. — FV "Territory Pearl": - Stn. C1, 29° 05'S, 113° 41'E, 880 m, 3 Feb. 1988, B. Wallner coll., 1 ovig. female (26.9 mm) (NTM Cr 007187). — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 2, 20° 16.5'S, 113° 13.5'E, 913-914 m, 23 Jan. 1991, 1 male (22.7 mm), 11 ovig. females (23.5-27.1 mm); - Stn. 24, 24° 30.2'S, 111° 50.9'E, 905-992 m, 28 Jan. 1991, 1 male (23.5 mm), 1 ovig. female (27.9 mm); - Stn. 35, 26° 05.9'S, 111° 46.7'E, 874-882 m, 30 Jan. 1991, 2 males (20.2, 23.5 mm), 1 female (19.5 mm), 5 ovig. females (ca. 22.5-ca. 30 mm).

Distinguishing features. — Rostrum extending barely to end of antennular peduncle, armed dorsally with 8-12 teeth, somewhat sparcely distributed anteriorly including 3-6 posterior to orbital margin, and ventrally unarmed or with a single tooth near distal end. Dorsal margin of 3rd abdominal somite slightly produced posteriorly. Pleuron of 5th somite with small, sharp posteroventral spine. Sixth abdominal somite slightly more than twice as long as 5th, ventral margin almost smooth, without marked tuberculate swelling near posterior end. Telson 1.07-1.13 times as long as 6th somite, armed with 6-10, commonly 6-7, spines on each side.

Distribution. — Indo-Pacific. Previously recorded in Australia from off the east coast (Kensley *et al.* 1987).

Family Stylodactylidae

Genus ***Stylodactylus*** A. Milne Edwards

Key to the species of *Stylodactylus* of Western Australia

1. Third abdominal somite with 2-4 spines at posterodorsal mardin; 2nd antennular peduncle segment elongated and longer than 1st ······························(*S. brucei*)
- Third abdominal somite without spines at posterodorsal margin; 2nd antennular peduncle segment not elongated and shorter than 1st·······························2
2. Supraorbital spine small; pleura of 4th and 5th abdominal somites with posteroventral spine··································*S. licinus*
- Supraorbital spine well developed; pleura of 4th and 5th abdominal somites without posteroventral spine···(*S. multidentatus*)*

* According to Cleva (1994), the Western Australian *S. multidentatus* is allocated to the subspecies *S. multidentatus multidentatus* Cleva.

Stylodactylus licinus Chace, 1983

Stylodactylus licinus Chace, 1983: 14; fig. 6; Cleva, 1990: 87, figs. 3a-j, 18f,g; - 1994: 58; Takeda & Hanamura, 1994: 17, fig. 8a.

Occurrence. — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 3, 20° 07.8'S, 112° 55.1'E, 854-868 m, 23 Jan. 1991, 1 ovig. female (16.5 mm).

Distinguishing features. — Rostrum slightly curved upwards and extending distinctly beyond end of antennal scale, armed dorsally with more than 30 teeth, and ventrally with at least 21 teeth. Carapace with small supraorbital spine, but lacking secondary spines below branchiostegal spine. Pleura of 4th and 5th abdominal somites with sharp posteroventral spine. Articulation between merus and ischium of 4th pereopod indistinctly fused, while that of 5th pereopod distinctly

articulated. Dactyli of posterior 3 pereopods 3.65, 4.15, and 7.08 times as long as propodi, respectively.

Distribution. — The Philippine-Indonesian region, New Caledonia, Fiji, and the Chesterfield Islands. New to the Australian fauna.

Family Pandalidae

Genus ***Heterocarpus*** A. Milne Edwards

Key to the species of *Heterocarpus* of Western Australia

1. Postantennal carina long and continuous from antennal spine to near posterior end of carapace ········ 2
- Postantennal carina short, ending just posterior to antennal spine ········ 4
2. Carapace with cardiolateral carina on posterior half ········ 3
- Carapace without cardiolateral carina on posterior half; 3rd abdominal somite with sharp dorsal spine at midpoint; telson with 4 pairs of dorsolateral spines ········ *H. woodmasoni*
3. Length of unarmed portion of dorsal margin greater than half carapace length; marked red patch in branchiocardiac region of carapace in fresh specimens, but no patch on 3rd abdominal somite ······ *H. hayashii*
- Length of unarmed portion of dorsal margin less than half carapace length; marked red patch absent in branchio-cardiac region of carapace, but present on 3rd abdominal somite in fresh specimens ········ *H. sibogae*
4. Third abdominal somite, at least, with posteromedial spine ········ 5
- Third abdominal somite without postero medial spine ········ 6
5. Fourth and 5th abdominal somites ending in posteromedial spine ········ *H. dorsalis*
- Fourth and 5th abdominal somites not ending in posteromedial spine ··· *H. longirostris*
6. Branchiostegal spine longer than antennal spine; dorsal margin of rostrum unarmed on distal half ········ (*H. laevigatus*)
- Branchiostegal spine shorter than antennal spine; dorsal margin of rostrum entirely toothed ········ 7
7. Lateral carina of rostrum indistinct on portion anterior to eye; postorbital carina curved obliquely upwards near midpoint ········ *H. gibbosus*
- Lateral carina of rostrum distinct throughout length; postorbital carina curved abruptly upwards near midpoint ········ *H. tricarinatus*

Heterocarpus dorsalis Bate, 1888

Heterocarpus dorsalis Bate, 1888: 630, pl. 111; De Man, 1920: 171, pl. 15, fig. 43; Chace, 1985: 22, fig. 13d; Hayashi, 1986: 117, 267, fig. 74; Hanamura & Takeda, 1987: 107; Crosnier, 1988: 62, figs. 2, 3; Wadley & Evans, 1991: 16, 2 figs.; Takeda & Hanamura, 1994: 20.

Occurrence. — FV "Territory Pearl": - Stn. C1, 29° 05'S, 113° 41'E, 880 m, 3 Feb. 1988, B Wallner coll., 1 female (28.2 mm) (NTM Cr 007182); - Stn S9, 13° 06'S, 122° 18'E, 25 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 female (24.1 mm), 4 ovig. females (21.9-30.1 mm) (NTM Cr 006993), 2 ovig. females (27.0, 30.4 mm) (NTM Cr 007184). — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 3, 20° 07.8'S, 112° 55.1'E, 854-868 m, 23 Jan. 1991, 2 females (18.3, ca. 19 mm); - Stn. 4, 20° 55.4'S, 112° 51.5'E, 1128-1139 m, 23 Jan. 91, 1 male (ca. 20 mm), 2 females (ca. 20, 20.6 mm), 1 ovig. female (21.1 mm); - Stn. 13, 22° 28.8'S, 113° 12.4'E, 1258-1305 m, 25 Jan. 1991,1 ovig. female (24.0 mm); - Stn.

22, 23° 59.5'S, 111° 54.1'E, 1061-1071 m, 27 Jan. 1991, 1 male (19.8 mm); - Stn. 35, 26° 05.3'S, 111° 46.7'E, 874-882 m, 30 Jan. 1991, 1 ovig. female (28.0 mm); - Stn. 49, 28° 04.1'S, 112° 42.6'E, 853-854 m, 1 Feb. 1991, 1 ovig. female (25.2 mm).

Distinguishing features. — Rostrum curved slightly upwards and extending beyond antennal scale, armed dorsally with 9-13 teeth including 2-3 teeth posterior to orbital margin, and ventrally with 11-13 teeth. Carapace with dorsal lateral carina between orbital and posterior margins; postbranchiostegal carina from hepatic spine to posterior margin; postantennal carina absent; branchiostegal spine extending as far as, or slightly beyond, end of antennal spine. Abdomen with first 2 somites dorsally rounded, 3rd to 5th somites dorsally carinate and ending in dorsomedial spine, 6th somite slightly grooved middorsally.

Distribution. — Indo-West Pacific. Previously recorded in Australia from the NW continental slope (Hanamura and Takeda 1987, Wadley and Evans 1991).

Heterocarpus gibbosus Bate, 1888

Heterocarpus gibbosus Bate, 1888: 634, pl. 112, fig. 2; De Man, 1920: 163, pl. 14, fig. 39; Chace, 1986: 29, figs. 13f, 17; Hanamura & Takeda, 1987: 107; Chan & Yu, 1987: 54, pl. 1, figs. a-c; Crosnier, 1988, figs. 6b,c, pl. 4, figs. c, d; Wadley & Evans, 1991: 17, 2 figs.

Occurrence. — RV "Territory Pearl": - Stn. A 11, 9° 35'S, 129° 28'E, 360-395 m, 18 Jan. 1988, 1 female (25.3 mm) (NTM Cr 006996); - Stn. T1, 11° 33'S, 124° 58'E, 413-420 m, 20 Jan. 1988, 1 male (37.5 mm), 1 female (43.6 mm) (NTM Cr 007188).

Distinguishing features. — Rostrum curved upwards, extending beyond end of antennal scale, armed dorsally with 9 teeth including 5-6 posterior to orbital margin, and ventrally with 8 teeth; lateral rostral carina indistinct, extending anteriorly just beyond eye. Dorsal crest highly arched. Postorbital carina well developed and curved obliquely upwards near midpoint; postbranchiostegal carina extending posteriorly along 2/3 of carapace length before diminishing. First 2 abdominal somites rounded dorsally, 3rd with blunt and wide carina, 4th and 5th rounded, and 6th nearly flattened dorsally.

Distribution. — Indo-West Pacific. Previously recorded in Australia from the NW continental slope (Hanamura and Takeda 1987, Wadley and Evans 1991).

Heterocarpus hayashii Crosnier, 1988 (Fig. 2)

Heterocarpus hayashii Crosnier, 1988: 81-83, figs. 4b, 5b, pl. 1, fig. d, Pl. 3 figs. c-e; Wadley & Evans, 1991: 18, 2 figs.
Heterocarpus sibogae: Chace, 1985: 36 (part; fig. 20); Hayashi, 1986: 119, 268, fig. 76; Chan & Yu, 1987: 57 (part; pl. 2, fig. c).

Occurrence. — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 6, 21° 37.5'S, 113° 55.6'E, 328 m, 24 Jan. 1991, 1 male (25. 0 mm).

Distinguishing features. — Rostrum broken off in specimens examined, but 5 rostral teeth present posterior to orbital margin. Carapace (Fig. 2) with dorsal margin unarmed over more than 50% of carapace length; short cardiolateral carina present; postorbital carina entirely absent; postantennal carina continuous from antennal spine to near

posterior carapace margin; marked red patch present in branchiocardiac region in fresh specimens. First 2 abdominal somites dorsally carinate, 3rd and 4th ending in posteromedial spine, with the former slightly longer than on 4th; 3rd abdominal somite without red patch in fresh specimens.

Remarks. — In addition to the obvious natural color difference, Crosnier (1988) suggested that this species differs from *H. sibogae* in having a) lower dorsal carinae on the first two abdominal somites, and b) subequality in dorsomedial spine length on the 3rd and 4th somites, the latter being shorter. However, in other, particularly preserved, material examined, these diagnostic features proved unreliable, due either to individual variation in, or as a result of damage or wear to, the physical features concerned.

With the kind cooperation of the senior author's colleagues, several fresh *Heterocarpus* specimens, attributable to either *H. hayashii* or *H. sibogae*, were obtained for comparison from Tosa Bay, SW Japan. Careful measurement showed that specimens with no red patch on the 3rd abdominal somite (*H. hayashii*: N=10, cl 23.1-37.2 mm) were unarmed along 51.9-58.9% (average ± S.D.: 54.8 ± 2.49) of the dorsal carapace length, whereas in specimens with the red patch (*H. sibogae*: N=17, cl 24.8-36.6 mm), the unarmed propotion was 43.5-49.0% (average ± S.D.: 47.1 ± 1.79). Statistically, these mean values are highly significant ($p < 0.001$), and appear to be consistent in both adolescents and adults.

Furthermore, limited observation revealed another possible differentiating characteristic between the species, being the angle at which the dorsal margin of carapace ends posteriorly. In *H. sibogae* the angle appears somewhat more acute than that in its congener (cf. figs. 2 and 3 in the present study; also Chace 1985, figs. 18 and 20; Wadley and Evans 1991, color plates on pp. 18 and 19).

Distribution. — Indo-West Pacific. Previously recorded in Australia from the east coast (see Crosnier 1988) and off Western Australia (Wadley and Evans 1991).

Heterocarpus longirostris MacGilchrist, 1905

Heterocarpus longirostris MacGilchrist, 1905:

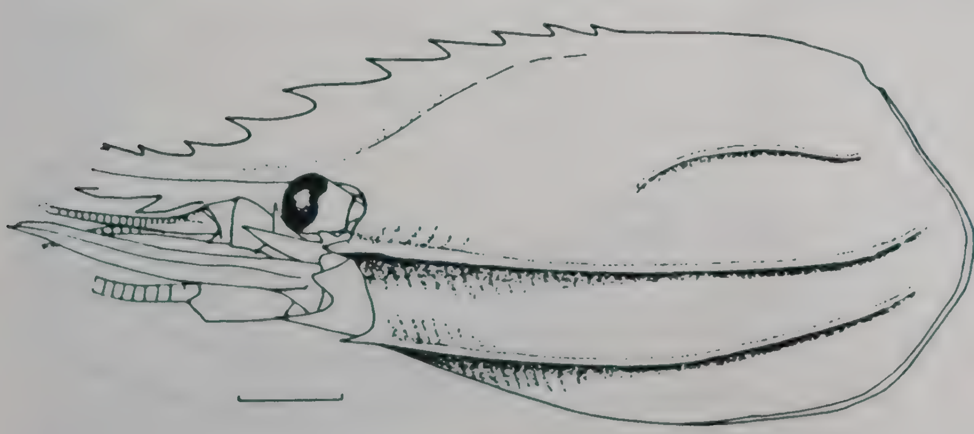


Fig. 2. *Heterocarpus hayashii* Crosnier, 1988, male cl 25.0 mm: anterior part of body. Scale represents 5 mm.

237; Chace, 1985: 35; Crosnier, 1988: 78.
Heterocarpus facetus Zarenkov *in* Zarenkov & Khodokina, 1981: 83, fig. 1.

Occurrence. — FV "Territory Pearl": - Stn. S9, 13° 06'S, 122° 18'E, 900-1000 m, 25 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 female (45.2 mm), 1 ovig. female (47.5 mm) (NTM Cr 007183).

Distinguishing features. — Rostrum broken off in specimens examined, but 4 rostral teeth present posterior to orbital margin. Postorbital carina well developed; postantennal carina very short; postbranchiostegal carina extending almost to posterior margin of carapace. First 2 abdominal somites rounded dorsally, 3rd carinate and ending in posteromedial spine, 4th and 5th somites bluntly carinate, and 6th very bluntly carinate dorsally.

Distribution. — Indo-West Pacific. New to the Australia fauna.

Heterocarpus sibogae De Man, 1917
(Fig. 3)

Heterocarpus sibogae De Man, 1917: 283; - 1920: 169, pl. 14, fig. 42; Chace, 1985: 36 (part; figs. 13m, 18, 19); Chan & Yu, 1987: 57 (part; pl. 2, fig. d); Hanamura & Takeda, 1987: 107; Crosnier, 1988: 79, fig. 5c, pl. 1, fig. c, pl. 3, figs. a,b; Wadley & Evans, 1991: 19, 2 figs.; Takeda & Hanamura, 1994: 21.

Occurrence. — FV " Dampier Pearl": - Stn. 3, locality and Depth Unknown, 13 July 1988, M Saches coll., 1 female (30.7 mm). — FV "Thata": - Stn. FO 86-6, 10° 28'S, 134° 14'E, ?60 m, 28 Apr. 1986, T. McCguigan & T. Ward coll., 1 ovig. female (32.6 mm) (NTM Cr 007163). — FV "Territory Pearl": - Stn. A1, 9° 51'S, 130° 00'E, 220-255 m, 16 Jan. 1988, 1 male (31.2 mm); -Stn. A2, 9° 49'S, 130° 07'E, 260-280 m, 16 Jan. 1988, B. Wallner coll., 2 males (28.8, 32.7 mm) (NTM Cr 007179) and 1 male (34.8 mm) (NTM Cr 007180).

Distinguishing features. — Rostrum curved upwards and extending beyond end of antennal scale, armed dorsally with, most commonly, 16-17 teeth including 4-5 posterior to orbital margin, and ventrally with 11-12 teeth. Carapace (Fig. 3) with dorsal margin unarmed over less than 50% of carapace length; short cardiolateral carina

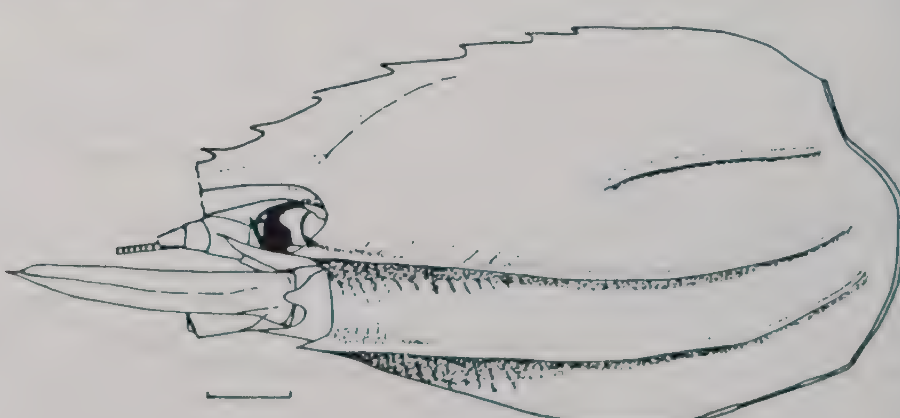


Fig. 3. *Heterocarpus sibogae* De Man, 1917, female cl 30.7 mm: anterior part of body. Scale represents 5 mm

present; postorbital carina absent; postantennal carina continuous from antennal spine to near posterior carapace margin; red patch absent in branchiocardiac region in fresh specimens. First 2 abdominal somites with high carina, 3rd and 4th ending in posteromedial spines of approximately equal length. Third abdominal somite with red patch in fresh specimens.

Remarks. — Distinctions between *H. sibogae* and *H. hayashii* can be found under the "*Remarks*" section for the latter.

There is some slight doubt as to the identity of specimens from Stns. A1 and A2 (NTM Cr 007180 and 007188) as these were originally sorted into specimens having no red patch on the abdomen, as in *H. hayashii.* However, three factors led us to consider them as *H. sibogae*: a) the absence of a red abdominal patch is inconclusive as patches often fade quickly after capture, b) the presence of well developed dorsal carinae on the first two abdominal somites is consistent with all the other specimens examined, and c) the relative lengths of the dentate and unarmed portions of the dorsal carapace margin agree with those of *H. sibogae.*

Distribution. — Indo-Pacifc. Previously recorded from off Western Australia (Hanamura and Takeda 1987, Wadley and Evans 1991).

Heterocarpus tricarinatus Alcock and Anderson, 1894

Heterocarpus tricarinatus Alcock & Anderson, 1894: 154; Alcock & McArdle, 1901, pl. 51, fig. 1; De Man, 1920: 161, pl. 13, fig. 38a-d, pl. 14, fig. 38; Chace, 1985: 41, fig. 13o; Crosnier, 1988: 84, fig. 6d, pl. 4, figs. e-h; Lee, 1990: 127, figs. 2-7, pl. 1.

Heterocarpus tricarinatus tricarinatus Crosnier, 1988: 84, fig. 6d, pl. 4, figs. e-f.

Heterocarpus tricarinatus angustus Crosnier, 1988: 84, pl. 4, figs. g-h.

Occurrence. — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 12, 22° 00.5'S, 113° 06.4'E, 1460-1700 m, 25 Jan. 1991, 1 female (39.3 mm); - Stn. 13, 22° 28.6'S, 113° 12.4'E, 1258-1305 m, 25 Jan. 1991, 4 males (34.5-37.2 mm), 7 females (ca. 26.5-41.1 mm), 3 ovig. females (ca. 32-38.5 mm); - Stn. 23, 24° 09.6'S, 111° 39.5'E, 1293-1320 m, 1 female (34.4 mm).

Distinguishing features. — Rostrum curved slightly upwards but sometimes straight, and extending beyond end of antennal scale, armed dorsally with 12-14 teeth including 5-6 posterior to orbital margin, and ventrally with 8-9 teeth; lateral carina distinct throughout rostral length. Postorbital carina curved upwards rather abruptly near midpoint. Postbranchiostegal carina indistinct posterior to near midpoint of carapace. First 2 abdominal somites rounded dorsally, 3rd with low and wide carina, 4th and 5th bluntly carinate, and 6th rounded dorsally.

Remarks. — Crosnier (1988) divided *H. tricarinatus* into two subspecies based on the width of the dorsal carina on the 3rd abdominal somite. He proposed *H. t. tricarinatus*, with a carina generally 0.4 times the total length of that somite, to represent the western Indian Ocean, and *H. t. angustus*, with a carina 0.25-0.3 times the somite length, to represent the Philippine-Indonesian region. However, Lee (1990) noted this relative value to be about 0.35 in Taiwanese specimens — an intermediate value between those for Crosnier's subspecies.

Carina measurements in Western Australian specimens showed the relative widths to be 0.27-0.35 (average: 0.30). Although this

tends to indicate that they are *H. t. angustus,* we feel that, until more material is collected to support Crosnier's view, it is prudent to recognize the existence of one nominal species, at least for the Indo-West Pacific region.

Distribution. — Indo-West Pacific. New to the Australian fauna.

Heterocarpus woodmasoni Alcock, 1901

Heterocarpus Wood-masoni Alcock, 1901: 108; De Man, 1920: 156, pl. 13, fig. 36.
Heterocarpus wood-masoni : Alcock & McArdle, 1901, pl. 51, fig. 2.
Heterocarpus woodmasoni: Chace, 1985: 42, fig. 13q; Chan & Yu, 1987: 55, pl. 1, fig. d; Hanamura & Takeda, 1987: 108; Kensley *et al.,* 1987: 313; Crosnier, 1988, fig. 1i-l; Wadley & Evans, 1991: 20, 2 figs.
Not *Heterocarpus woodmasoni*: Calman, 1939: 204. (= *H. calmani*)

Occurrence. — FV "Dampier Pearl": - Stn. Shot I, locality and depth unknown, 16 July 1988, M. Sachse coll., 1 male (32.2 mm).

Distinguishing features. — Rostrum curved slightly upwards, and extending beyond end of antennal scale, armed dorsally with 9 teeth including 2 posterior to orbital margin, and ventrally with 8 teeth; postrostral part slightly convex, but not forming distinct hump. Carapace with cardiolateral and postorbital carinae entirely absent; postantennal carina continuous from antennal spine to near posterior carapace margin. First abdominal somite rounded dorsally and with pair of low dorsolateral tubercles, 2nd somite flattened dorsally, 3rd to 5th somites more or less carinate, 3rd bearing acute spine near midpoint of dorsum, 6th with pair of dorsal carinae; pleuron of 5th somite with small posteroventral spine. Telson with 4 pairs of dorsolateral spines in addition to distal series.

Distribution. — Eastern part of the Indian Ocean and the Western Pacific. Previously recorded in Australia from the east coast (Kensley *et al.* 1987) and off Western Australia (Hanamura and Takeda 1987, Wadley and Evans 1991).

Genus ***Plesionika*** Bate

Chace (1985) noted that morphological similarity between species of the genera *Plesionika* and *Parapandalus* is such that the single taxonomic feature used to distinguish between the two — the presence or absence of epipods on anterior pereopods — is, by itself, not sufficiently reliable. While some taxonomists have since continued to separate the genera (Timofeew 1993, Holthuis 1993), this paper adopts Chace's single genus concept, and follows Chan and Crosnier (1991).

Key to the species of *Plesionika* of Western Australia

1. Epipods absent on pereopods ··············2
- Epipods present on anterior 4 pereopods ··············3
2. Ventral teeth of rostrum relatively widely spaced, with 8-11 teeth situated above antennal scale ··············*P. grandis*
- Ventral teeth of rostrum quite narrowly spaced, with 14-20 teeth situated above antennal scale ··············*P. quasigrandis*
3. Posterior dorsal rostral teeth bluntly barbed distally ··············(*P. pumila*)
- Posterior dorsal rostral teeth tapered distally ··············4
4. Third abdominal somite with posteromedian spine recurved upwards ··············(*P. reflexa*)

- Third abdominal somite unarmed posteromedially ································5
5. Telson with 4 pairs of dorsolateral spines, excluding distal pair ················6
- Telsno with 3 pairs of dorsolateral spines, excluding distal pair ················7
6. Three to 5 teeth of dorsal rostral series situated posterior to orbital margin; pleuron of 4th somite with posteroventral spine; exopod of uropod as long as endopod ·························(*P. bifurca*)
- Seven to 10 teeth of dorsal rostral series situated posterior to orbital margin; pleuron of 4th somite without posteroventral spine; exopod of uropod shorter than endopod ··················(*P. spinidorsalis*)
7. Second pair of pereopods noticeably unequal in length ·····························8
- Second pair of pereopods subequal in length ··9
8. Third abdominal somite compressed and dorsally carinate; dorsolateral spine of antennal scale barely reaching distal margin of lamella ···········(*P. unidens*)
- Third abdominal somite rounded dorsally; distolateral spine of antennal scale not reaching distal margin of lamella ··························(*P. lophotes*)
9. Pleuron of 4th somite with posteroventral spine; dorsal margin of rostrum with closely spaced teeth throughout length ·······································*P. indica*
- Pleuron of 4th somite without posteroventral spine ·································10
10. Dorsal margin of rostrum armed with a few teeth on anterior half ····(*P. ocellus*)
- Dorsal margin of rostrum unarmed on anterior half··································11
11. Posterior teeth of dorsal rostral series movable; eye without ocellus ···*P. alcocki*
- Posterior teeth of dorsal rostral series immovable; eye with ocellus ·············12
12. Anteriormost tooth of dorsal rostral series based distinctly anterior to distal end of antennular peduncle; maximum carapace length less than 15 mm ·································(*P. parvimartia*)
- Anteriormost tooth of dorsal rostral series based just above or posterior to distal end of antennular peduncle; maximum carapace length exceeding 20 mm or more································13
13. Eye kidney-shaped; orbital margin distinctly concave posterodorsally···································*P. semilaevis*
- Eye not kidney-shaped; orbital margin nearly straight or weakly concave posterodorsally ·····························14
14. Posterior teeth of dorsal rostral series somewhat sparcely spaced; postrostral carina moderately high; exopod of 3rd pleopod usually at least 0.8 times as long as carapace······················*P. orientalis*
- Posterior teeth of dorsal rostral series quite narrowly spaced; postrostral carina relatively low; exopod of 3rd pleopod 0.70-0.78 times as long as carapace ···*P. martia*

Plesionika alcocki (Anderson, 1896)
(Fig. 4)

Pandalus alcocki Anderson, 1896: 92.
Pandalus (Plesionika) alcocki: Alcock & McArdle, 1901, pl. 52, figs. 2,4.
Plesionka alcocki: Chace, 1985: 55; Hayashi, 1986: 81, 270, fig. 81; Kensley *et al.*, 1987: 313.

Occurrence. — FV "Territory Pearl": - Stn. S8, 13° 17'S, 122° 21'E, 600-740 m, 25 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 female (19.1 mm), 1 ovig. female (25.0 mm).

Distinguishing features. — Rostrum curved upwards, and extending distinctly beyond

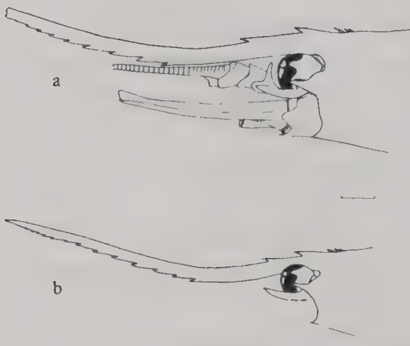


Fig. 4. *Plesionika alcocki* (Anderson, 1896), anterior part of body: a) ovig. female cl 25.0 mm; b) female cl 19.0 mm. Scale represents 5 mm.

end of antennal scale, armed dorsally with 5 teeth on basal crest including 3 small closedly spaced teeth posterior to orbital margin, and ventrally with 15 teeth. Orbital margin evenly concave posteriorly, and convex ventrally; antennal spine extending adjacent to posterior two-fifths of cornea. Abdomen rounded dorsally, 3rd somite with posterior margin slightly produced posteriorly, 6th somite slightly less than twice as long as 5th somite. Pleuron of 4th somite rounded posteroventrally, that of 5th with spine. Telson as long as 6th abdominal somite. Antennal scale slightly less than 0.8 times as long as carapace. Epipods present on anterior 4 pereopods.

Distribution. — Indo-West pacific. Previously known in Australia from the east coast (Kensley *et al.* 1987).

Plesionika grandis Doflein, 1902

Plesionika spinipes var. *grandis* Doflein, 1902: 618, pl. 3, figs. 3-5.

Plesionika grandis: Chace, 1985: 66, figs. 28, 29; Hayashi, 1986: 133, fig. 83; Hanamura & Takeda, 1987: 110, fig. 2a-c; Chan & Crosnier, 1991: 423, figs. 3f, 22.

Occurrence. — FV "Territory Pearl" :- Stn. A1, 9° 51'S, 130° 00'E, 220-255 m, 16 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 ovig. female (19.0 mm) (NTM Cr 007186). — FRV "Southern Surveyor":- Stn. 8, 21° 44.7'S, 113° 52.3'E, 290-320 m, 24 Jan. 1991, 2 females (16.0, 17.0 mm).

Distinguishing features. — Rostrum slightly curved upwards, and extending distinctly beyond end of antennal scale, armed dorsally with about 50 closely spaced teeth along entire length including 5-7 posterior to orbital margin, and ventrally with 27-32 narrowly spaced teeth including 8-11 situated above antennal scale; spacing between posterior 10 ventral teeth corresponding with that of 11-14 dorsal teeth adjacent above. Abdomen rounded dorsally, 6th somite 1.67-1.70 times as long as 5th somite; pleura of 4th and 5th with small posteroventral spine. Telson 1.27-1.32 times as long as 6th somite, with 3 pairs of dorsolateral spines. Antennal scale 0.86-0.97 times as long as carapace. Epipods absent on pereopods.

Distribution. — Indo-West Pacific. Previously recorded in Australia from the NW continental shelf (Hanamura and Takeda 1987).

Plesionika indica De Man, 1917

Plesionika longipes var. *indica* De Man, 1917: 279; - 1920: 121, pl. 10, fig. 25a-g, pl. 11, fig. 25.

Plesionika indica: Chace, 1985: 70, figs. 31, 32; Hanamura & Takeda, 1987: 111; Wadley & Evans, 1991: 21, 2 figs.

Occurrence. — FV "Comac Endeavour": - Stn. WH 85-24, 17° 12'S, 119° 18'E, 435 m, W. Houston coll., 1 male (30.5 mm) (NTM Cr 007199). — FV "Territory Pearl": - Stn. A1,

9°51'S, 130°00'E, 220-255 m, 16 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 ovig. female (29.4 mm) (NTM Cr 007198).

Distinguishing features. — Rostrum slightly curved upwards and extending distinctly beyond end of antennal scale, armed dorsally with at least 28 teeth including 4-5 posterior to orbital margin, and ventrally with more than 17 teeth. Orbital margin noticeably concave posteriorly. Abdomen rounded dorsally, 6th somite 1.71-1.73 times as long as 5th; pleura of 4th and 5th with small posteroventral spine. Telson 1.56-1.65 times as long as 6th somite, armed with 3 pairs of dorsolateral spines. Antennal scale 0.81-0.85 times as long as carapace. Epipods present on anterior 4 pereopods.

Distribution. Indo-West Pacific. Previously recorded in Australia from off the west coast (Hanamura and Takeda 1987, Wadley and Evans 1991).

Plesionika martia (A. Milne Edwards, 1883)

Pandalus martia A. Milne Edwards, 1883, pl. 21.

Plesionika martia: Hanamura, 1989: 63, figs. 9-11.

Occurrence. — FV "Territory Pearl": -Stn. G1, 29° 05'S, 113° 41'E, 880 m, 3 Feb 1988, B. Wallner coll., 1 male (22.5 mm) (NTM Cr 007187). — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 36, 26° 14.5'S, 112° 03.2'E, 690-691 m, 30 Jan 1991, 2 males (20.1, 27.5 mm), 5 ovig. females (22.3-26.2 mm). - Stn. 42, 26° 57.0'S, 112° 22.3'E, 666-688 m, 31 Jan 1991, 1 female (26.4 mm), 6 ovig. females (26.0-27.1 mm). - Stn. 43, 27° 05.8'S, 112° 22.9'E, 714 m, 31 Jan. 1991, 1 male (25.0 mm). - Stn. 62, 29° 51.9'S, 114° 11.6'E, 760-770 m, 7 Feb. 1991, 1 ovig. female (22.0 mm). -Stn. 84, 32° 40.4'S, 114° 28.2'E, 960-990 m, 14 Feb. 1991, 1 female (23.9 mm).

Distinguishing features. — Rostrum curved dorsally, and extending distinctly beyond end of antennal scale, armed dorsally with 7-9, commonly 7-8, teeth on proximal part, with anteriormost tooth based above antennular peduncle including 3-5, commonly 3-4, posterior to orbital margin, and ventrally with about 50 teeth or more (examined specimens damaged anteriorly). Postrostral carina moderately developed, ending in gentle slope posteriorly. Orbital margin almost straight or weakly convex posteriorly. Abdomen rounded dorsally, 6th somite 1.87-1.99 times as long as 5th; pleuron of 4th rounded posteriorly, that of 5th with small spine or occasionally narrowly rounded. Telson 0.96-1.06 times as long as 6th abdominal somite. Antennal scale 0.87-0.96 times as long as carapace. Epipods present on anterior 4 pereopods.

Remarks. — Hanamura (1989) noted slight external differences in dorsal rostral teeth development and in metric values of some appendages between specimens from southern Australia and those from SE Atlantic. Specimens from the south-western part of Western Australia have showed a close relationship with the southern Australian population.

With kind permission of the Instituto de Ciencias der Mar, Barcelona, we were able to examine four specimens from the south-east Atlantic and the Mediterranean. Comparison of these specimens (cl 20.0-22.2 mm) with those from Western Australia (cl 20.1- 27.1 mm) revealed a slightly greater length ratio between the merus of the 3rd pleopod and the carapace in the former, being 1.07-1.28, as opposed to 0.97-0.98 in those from Western

Australia. Furthermore, the length ratio between the penultimate and distal segments of the 3rd maxilliped was also greater, being 0.78-0.80, as opposed to 0.85-0.92 in the Australian specimens. Although the dorsal rostral teeth of the Australian population tend to be more developed than the Atlantic population (including the Mediterranean), this feature can not be entirely reliable to distinguish the two populations due to the presence of some intermediate forms.

At this stage, we are not certain if these are specific differences or merely geographic variations, and further world-wide study of the *P. martia* species group is required before clarification is possible.

Distribution. — *P. martia* has been recorded from the Atlantic and southern part of the Indo-West Pacific. The southern Australian population appears to be confined to waters below approximately 25°S.

Plesionika orientalis Chace, 1985

Plesionika martia orientalis Chace, 1985: 84, figs. 38, 39; Hanamura & Takeda, 1987: 111, figs. 3a,b.

Occurrence. — FV "Territory Pearl": - Stn. S7, 13° 26'S, 122° 21'E, 470-540 m, 25 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 ovig. female (26.1 mm) (NTM Cr 007189). — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 15, 22° 59.9'S, 113° 14.3'E, 482-544 m, 26 Jan. 1991, 1 ovig. female (27.2 mm).

Distinguishing features. — Rostrum curved upwards, and extending distinctly beyond end of antennal scale, armed dorsally with 6 teeth, distalmost tooth based above end of antennular peduncle including 3 teeth posterior to orbital margin, and ventrally with more than 30 teeth. Postrostral carina moderately developed, ending in gentle slope posteriorly. Orbital margin almost straight or weakly convex posteriorly. Abdomen rounded dorsally, 6th somite 1.81-1.92 times as long as 5th; pleuron of 4th somite rounded posteroventrally, that on 5th with minute spine. Telson 1.15 times as long as 6th somite. Antennal scale about 0.88 (specimen damaged slightly) times as long as carapace. Epipods present on anterior 4 pereopods.

Distribution. — The Philippine-Indonesian region. Previously recorded in Australia from the north-western coast (Hanamura and Takeda 1987).

Plesionika quasigrandis Chace, 1985

Plesionika quasigrandis Chace, 1985: 104, figs. 47, 48; Hanamura & Takeda, 1987: 115, fig. 2d-f; Chan & Crosnier, 1991: 421, figs. 2b, 3c-d.

Occurrence. — FRV "Southern Surveyor"; - Stn. 8, 21° 44.7'S, 113° 52.3'E, 290-320 m, 24 Jan. 1991, 1 male (21.4 mm), 1 ovig. female (24.0 mm).

Distinguishing features. — Rostrum slightly curved upwards, and extending distinctly beyond end of antennal scale, armed dorsally with 41-48 closely spaced teeth including 6 posterior to orbital margin, and ventrally with about 35 quite narrowly spaced teeth including 14 above antennal scale; spacing between posterior 10 ventral teeth corresponding with that of dorsal 6-7 teeth adjacent above. Orbital margin truncate posterodorsally and concave posteriorly. Abdomen rounded dorsally, 6th somite 1.81 times as long as 5th; pleura of 4th and 5th somites with posteroventral spine. Telson 1.25 times

as long as 6th somite, and armed with 3 pairs of dorsolateral spines. Antennal scale 0.80 times as long as carapace. Epipods absent on pereopods.

Color. — The color of fresh *P. quasigrandis* specimen is similar to that of P. grandis shown by Chan and Crosnier (1991, fig. 22), apart from the abdomen appearing more transparent, and the redish lateral stripes, found in the latter, being indistinct.

Distribution. — Indo-West Pacific. Previously recorded from the NW continental shelf in Australia (Hanamura and Takeda 1987).

Plesionika semilaevis Bate, 1888

Plesionika semilaevis Bate, 1888: 644, pl. 113, fig. 3; Chace, 1985: 113, figs. 51, 52.
Plesionika martia var. *semilaevis*: De Man, 1920: 116 (part).

Occurrence. — FV "Territory Pearl": - Stn. A1, 9° 51'S, 130° 00'E, 220-255 m, 16 Jan. 1988, B. Wallner coll., 2 males (17.3, 18.0 mm), 1 ovig. female (18.9 mm) (NTM Cr 007185); - Stn. S7, 13° 26'S, 122° 21'E, 470-540 m, 25 Jan. 1988, B. Wallner coll., 1 ovig. female (20.5 mm) (NTM Cr 007191). — FRV "Southern Surveyor": - Stn. 6, 21° 37.5'S, 113° 55.8'E, 328 m, 24 Jan. 1991, 1 male (14.8 mm); Stn. 8, 21° 44.7'S, 113° 52.3'E, 290-320 m, 24 Jan. 1991, 1 ovig. female (16.2 mm); - Stn. 15, 22° 59.9'S, 113° 14.3'E, 482-544 m, 26 Jan. 1991, 3 males (20.4-20.4 mm), 2 ovig. females (-, 21.1 mm); - Stn. 36, 26° 14.5'S, 112° 03.2'E, 690-691 m, 30 Jan. 91, 1 male (16.8 mm).

Distinguishing features. — Rostrum directed obliquely upwards, and extending distinctly beyond end of antennal scale, armed dorsally with 6-8 teeth, commonly 6, on proximal part, with anteriormost tooth based above antennular peduncle, including 2-3 teeth, commonly 2, posterior to orbital margin, and ventrally with 30 teeth or more. Postrostral carina well developed, ending in gentle slope posteriorly. Orbital margin markedly inclined posterodorsally. Abdomen rounded dorsally, 6th somite 2.03-2.18 times as long as 5th; pleuron of 4th somite rounded posteroventrally, that on 5th with minute spine or occasionally narrowly rounded. Telson 0.97-1.07 times as long as 6th abdominal somite. Antennal scale 0.93-1.00 times as long as carapace. Epipods present on anterior 4 pereopods.

Distribution. — The Philippine-Indonesian region. Previously recorded in Australia from the north-western coast (Hanamura and Takeda 1987).

Family Crangonidae
Genus ***Parapontophilus*** Christofferson

Parapontophilus gracilis junceus (Bate, 1888)

Pontophilus junceus Bate, 1888: 491, pl. 88, figs. 2-4.
Pontophilus occidentalis var. *indica* De Man, 1918: 161; - 1920: 264, pl. 20, fig. 63a, pl. 21, fig. 63b-v.
Pontophilus gracilis junceus: Chace, 1984: 52, figs. 20-22; Takeda & Hanamura, 1994: 30.

Occurrence. — FRV "Southern Surveyour": - Stn. 13, 22° 28.8'S, 113° 12.4'E, 1258-1305 m, 25 Jan. 1991, 1 female (9.9 mm).

Distinguishing features. — Rostrum not extending beyond eye and armed with 2 pairs of lateral teeth on basal portion. Carapace with epigastric spine, and single spine just

posterior to midpoint of dorsal margin; lateral surface with 2 spines; short suture extending posteriorly from orbital margin to a point one-third along lateral face of carapace; minute spine present above narrow orbital cleft. Abdomen rounded dorsally, 6th somite twice as long as 5th. Telson slightly longer than 6th abdominal somite, with 2 pairs of lateral spines. Antennal scale 0.73 times as long as carapace.

Distribution. — The Philippine-Indonesian region. New to the Australian fauna.

Acknowledgements

We are most grateful to Dr. A.J. Bruce of the Northern Territory Museum of Arts and Sciences in Darwin, Northern Territory, and Drs. S. Rainer and V. Wadley of the CSIRO Division of Fisheries in Hobart, Tasmania, for allowing us to study interesting shrimp specimens for this study. We thank Dr. H. Horikawa and Mr. H. Sakaji of the Nansei National Fisheries Research Laboratory at Kochi, and Dr. C. Allué of the Instituto Ciencias der Mar, Barcelona, who provided us with comparative specimens of *Heterocarpus sibogae* and *H. hayashii*, and *Plesionika martia*. Finally we thank Prof. K. Hayashi of the National Fisheries University, Shimonoseki for his kind reading the manuscript of this paper.

References

Alcock, A., 1901: A descriptive catalogue of the Indian deep-sea Crustacea Decapoda Macrura and Anomala, in the Indian Museum: Being a revised account of the deep-sea species collected by the Royal Indian Marine Survey Ship "Investigator." Calcutta: 1-286, 3 pls.

Alcock, A. and A.R. Anderson, 1894: Natural history notes from H.M. Indian Marine Survey Steamer "Investigator," Commander C.F. Oldham, R.N., Commanding. Series II, No. 14: An account of a recent collection of deepsea Crustacea from the Bay of Bengal and Loccadive Sea. *J. Asiatic Soc. Bengal,* (2),**63**, 141-185, pl. 9.

Alcock, A. and A.F. McArdle, 1901: Crustacea, Part IX. In: Illustrations of the Zoology of the Royal Indian Marine Survey Ship *Investigator,* under the command of Commander T.H. Heming, R. N. Calcutta, pls. 49-55.

Allen, J.A. and T.H. Butler, 1994: The Caridea (Decapoda) collected by the Mid-Pacific Mountains Expedition, 1968. *Pac. Sci.,* **48**, 410-445.

Anderson, A.R.S., 1896. Natural history notes from R.I.M. Survey Steamer "Investigator," Commander C.F. Oldham, R.N., Commanding, 21: An account of the deep sea Crustacea collected during the season 1894-95. *J. Asiatic Soc. Bengal,* (2), **65**, 88-106.

Bate, C.S., 1988: Report on the Crustacea Macrura dredged by H.M.S. *Challenger* during the years 1873-76. *Rep. Voy. Challenger Zool.,* **24**, 1-942, pls. 1-150.

Burukovsky, R.N., 1991: Shrimps of the family Nematocarcinidae (Decapoda, Caridea) from the western part of the Indian Ocean. *Zool. Zh.,* **70**(5), 39-46. (In Russian)

Calman, W.T., 1939: Crustacea: Caridea. *The John Murray Expedition* 1933-34 *Scientific Reports,* **6**(4), 183-224.

Chace, F.A., Jr., 1983. The caridean shrimps (Crustacea: Decapoda) of the *Albatross* Philippine Expedition, 1907-1910, part 1: Family Stylodactylidae. *Smiths. Contr. Zool.,* **381**, 1-21.

Chace, F.A., Jr., 1984. The caridean shrimps (Crustacea: Decapoda) of the *Albatross* Philippine Expedition, 1907-1910, part 2: Families Glyphocrangonidae and Crangonidae. *Smiths. Contr. Zool.,* **397**, 1-63.

Chace, F.A., Jr., 1985: The caridean shrimps (Crustacea:, Decapoda) of the *Albatross* Philippine Expedition, 1907-1910, part 3: Families Thalassocarididae and Pandalidae. *Smiths. Contr. Zool.,* **411**, 1-143.

Chace, F.A., Jr., 1986: The caridean shrimps (Crustacea: Decapoda) of the *Albatross* Philippine Expedition, 1907-1910, part 4: Families Oplophoridae and Nematocarcinidae. *Smiths. Contr. Zool.,* **432**, 1-82.

Chan, T.-Y., and A. Crosnier, 1991: Crustacea Decapoda: Studies of the *Plesionika narval* (Fabricius, 1787) group (Pandalidae) with

description of six new species. Résultats des Campagnes MUSORSTOM, 9. *Mém. Mus. Natn. Hist. Nat.*, (A), **152**, 413-461.

Chan, T.-Y. and H.-P. Yu, 1987: On the *Heterocarpus* shrimps (Crustacea: Decapoda: Pandalidae) from Taiwan. *Bull. Inst. Zool., Acad. Sinica,* **26**, 53-60.

Cleva, R., 1990: Crustacea Decapoda: Les genres et les espèces indo-ouest pacifiques de Stylodactylidae. Résultats des Campagnes MUSORSTOM, 6. *Mém. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris,* (A), **145**, 71-136.

Cleva, R., 1994: Some Australian Stylodactylidae (Crustacea: Decapoda), with descriptions of two new species. *The Beagle,* **11**, 53-64.

Crosnier, A., 1988: Sur les *Heterocarpus* (Crustacea, Decapoda, Pandalidae) du sud-ouest de l'océen Indien, remarques sur d'autres espèces ouest-pacifiques du genre et description de quatre taxa nouveaux. *Bull. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris,* (4), **10**, sect. A, 57-103.

Doflein, F., 1902: Ostasiatische Dekapoden. *Abh. Bayer. Akad. Wiss. Math.-Phys. Klass., München,* **21**: 613-670, 6 pls.

Hanamura, Y., 1989: Deep-sea shrimps (Crustacea: Decapoda) collected by the R.V. "Soela" from southern Australia. *Bull. Biogeogr. Soc. Japan,* **44**, 51-69.

Hanamura, Y. and D.R. Evans, 1994: Deepwater caridean shrimps of the families Oplophoridae and Pasiphaeidae (Crustacea: Decapoda) from Western Australia, with an appendix on a lophogastridan mysid (Mysidacea). *Crust. Res.,* **23**, 46-60.

Hanamura, Y. and M. Takeda, 1987: Family Pandalidae (Crustacea, Decapoda, Caridea) collected by the RV "Soela" from the Northwest Australian Shelf. *Bull. Natl. Sci. Mus., Tokyo,* (A), **13**, 103-121.

Hayashi, K., 1986: Penaeidea and Caridea. In: Baba, K., K. Hayashi, and M. Toriyama, Decapod crustaceans from continental shelf and slope around Japan. The intensive research of unexploited fishery resources on continental slopes. Japan Fisheries Resource Conservation Association, Tokyo, 336 pp.

Holthuis, L.B., 1993: The recent genera of the caridean and stenopodidean shrimps (Crustacea, Decapoda), with an appendix on the order Amphionidacea. Nationaal Natuurhistorisch Museum, Leiden, 328 pp.

Kensley, B., H.A. Tranter and D.J.G. Griffin, 1987: Deepwater decapod Crustacea from eastern Australia (Penaeidea and Caridea). *Rec. Australian Mus.,* **39**, 263-331.

Lee, D.-A., 1990: On the deep-sea shrimps of Taiwan-I. *Heterocarpus tricarinatus* Alcock and Anderson, 1894. *Bull. Taiwan Fish. Res. Inst.,* **49**, 125-138. (In Chinese)

MacGilchrist, A.C., 1905: Natural history notes from the R.I.M.S. "Investigator," Capt. T.H. Heming, R.N. (retired), commanding. — Series III., No.6: An account of the new and some of the rare decapod Crustacea obtained during the surveying seasons 1901-1904. *Ann. Mag. Nat. Hist.,* (7), **15**, 233-268.

Man, J. G., De, 1917: Diagnoses of new species of macrurous decapod Crustacea from the Siboga-Expedition. *Zool. Meded., Leiden,* **3**(4), 279-284.

Man, J. G., De, 1918. Diagnosis of new species of macrurous decapod Crustacea from the *Siboga*-Expedition. *Zool. Meded., Leiden,* **4**(3), 159-166.

Man, J. G., De, 1920: The Decapoda of the Siboga Expedition, IV: Families Pasiphaeidae, Stylodactylidae, Hoplophoridae, Nematocarcinidae, Thalassocaridae, Pandalidae, Psalidopodidae, Gnathophyllidae, Processidae, Glyphocrangonidae and Crangonidae. *Siboga-Expeditie,* **39a**^{3}, 1-318, pls. 1-25.

Milne Edwards, A., 1883: Recueil de figures de Crustacés nouveaux ou peu connus, 3 pp., 44 pls.

Takeda, M. and Y. Hanamura, 1994: Deep-sea shrimps and lobsters from the Flores Sea collected by the R.V. "Hakuho-Maru" during KH-85-1 cruise. *Bull. Natl. Sci. Mus., Tokyo,* (A), **20**, 1-37.

Timofeew, W.W., 1993: New shrimp species from the Gulf of Aden. *Zool. Zh.,* **72**(9), 37-46. (In Russian)

Wadley, V. and D. Evans, 1991: Crustaceans from the deepwater trawl fisheries of Western Australia. CSIRO Division of Fisheries, North Beach, W Australia, 44 pp.

Zarenkov, N.A. and I.V. Khodkina, 1981: Crustacea Decapoda. In "Benthos of the submarine mountains Marcus-Necker and adjacent Pacific region." *P.P. Shirshov Inst. Oceanogr. Moscow*, 83-93. (In Russian)

西オーストラリア産深海性イトアシエビ，サンゴエビ，タラバエビ，およびエビジャコ科エビ類

花村幸生・D. R. エバンス

オーストラリア連邦漁業局では最近の10年以上にわたって，同国周辺の深海生物調査を進めてきた。調査の主たる目的は魚類相と潜在資源量の把握にあったが，多くの甲殻類が混獲された。この論文では深海性のイトアシエビ，サンゴエビ，タラバエビ，エビジャコ科のエビ類20種を記載した。この内，次の 6 種は同海域よりの初出現記録であった：*Nematocarcinus productus, N. tenuirostris, Stylodactylus licinus, Heterocarpus longirostris, H. tricarinatus,* および *Parapontophilus gracilis junceus.*

1995年12月12日受理（Accepted on December 12, 1995）
南西海区水産研究所業績A第41号
(Contribution No. A47 from the Nansei National Fisheries Research Institute)
花村幸生：南西海区水産研究所
〒739-04 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5
(Y. Hanamura: Nansei National Fisheries Research Institute, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan)
エバンス，D. R. ：オーストラリア連邦科学技術研究機構　海洋研究所，パース，西オーストラリア，オーストラリア
(D. R. Evans: CSIRO Division of Fisherries, GPO Box 20, North Beach, WA 6020, Australia)

南西水研研報 (Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.), No.29：19-26 (1996)

瀬戸内海東部産サワラの資源動向

永井達樹・武田保幸・中村行延・篠原基之
上田幸男・安部亨利・安部恒之

Stock status of Spanish Mackerel, *Scomberomorus niphonius*, in the Eastern Seto Inland Sea

Tatsuki Nagai, Yasuyuki Takeda, Yukinobu Nakamura, Motoyuki Shinohara, Yukio Ueta, Yuritoshi Abe, and Tsuneyuki Abe

The catch of Spanish mackerel in the Harima-Nada, the main fishing area in the eastern Seto Inland Sea, was at its maximum in 1987. This level was reduced to half in 1990. On the contrary, the catch off Gobo within the wintering area decreased to around one third of the level in 1987 compared to that prior to 1984. Total mortality coefficient of the stock was estimated as 0.75 from the averaged catch curve for the period 1987 through to 1990. Natural mortality coefficient was determined to be 0.31 based on the life span, and the fishing mortality coefficient (F) was 0.44. $F_{0.1}$ was estimated as 0.27 using the yield per recruit analysis. The stock seemes be over-exploited (growth overfishing). If fishing is ceased in autumn and fishing effort reduced at the $F_{0.1}$ level, the annual catch would increase by 6% and the total fecundity of the stock would increase to 40% level compared to that of an unexploited population.

Key words: Spanish mackerel, Seto Inland Sea, stock assessment, abundance

サワラ *Scomberomorus niphonius* は渤海・黄海・東シナ海から西日本まで広く分布するが，水域によって成長（永井・岸田1989；濱崎1993）が異なり，産卵場が分離しているので，瀬戸内海（以下単に内海と言う）産サワラは独立した資源である。内海は2歳魚以上（体重銘柄ではサワラ）では再生産，1歳魚と0歳魚（いずれもサゴシ）にはそれぞれ索餌と成育の場である。漁場の形成時期と移動様式から，内海には東部と中・西部の2系群の存在が想定されている（林・重田・藍沢1919；中込1971)。東部の漁獲量は1982年以降急増し，1987年に最大となったが，その後1990年までに半減した。これに関連し，タイと並ぶ高価格魚である本種の資源動向に関心が高まった。

本研究では海域別漁獲量や流し網船の銘柄別漁獲量の年変化及び年齢組成を解析し，内海東部産サワラの資源動向を検討した。

本論文をまとめるに際し，御校閲をいただいた南西海区水産研究所資源管理部長正木康昭博士に厚く御礼申し上げる。また，草稿の段階で，とりまとめの内容に関し，有益な御教示や建設的御批判をいただいた南西海区内外の研究者の方々に厚く感謝する。

資料及び方法

海域及び漁獲量

内海は紀伊水道から伊予灘に至る8つの水域で構成される（Fig. 1）。本研究では備讃瀬戸以東を東部，燧灘以西を西部と呼ぶ。

漁獲量の解析には農林統計と呼ばれる一連の

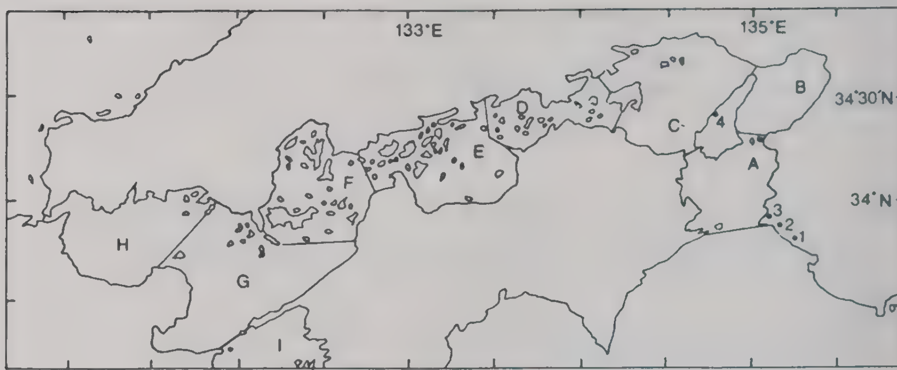


Fig. 1 Map showing the Seto Inland Sea and the adjacent area.
(A; Kii-Channel, B; Osaka-Bay, C; Harima-Nada, D; Bisan-Seto, E; Hiuchi-Nada, F; Aki-Nada, G; Iyo-Nada, H; Suo-Nada, I; Bungo-Channel, 1; Inami, 2; Gobo, 3; Hiizak, 4; Goshiki, A-H; the Seto Inland Sea, A-D; the East Area, E-H; the West Area, I; the Pacific Ocean)

統計，昭和43～52年瀬戸内海漁業灘別漁獲統計累年表（日本水産資源保護協会，1980）瀬戸内海の漁業(農林省中国四国農政局，1980～1982)，瀬戸内海地域の漁業（農林省中国四国農政局，1983～1988)，昭和28年海面漁業浅海養殖漁獲統計表（農林省，1954)，漁業養殖業漁獲統計表（農林省，1955～1963)，漁業養殖業生産統計年報（農林省，1964，1966～1978)，漁業養殖業生産統計年報（農林水産省，1979～1987）を用いた。上記の統計ではサワラは〝さわら類″として，その他のさわらと一括されているが，分布の実態から内海の漁獲量はすべてサワラとした。

播磨灘における主要な水揚げ地である五色町の流し網船による豊度（1日1隻当たりの漁獲量)，漁獲物の銘柄組成及び1尾当りの平均体重などから操業状況の年変化を検討した。また，越冬場で操業している御坊での漁獲量の年変化を調べた。

年齢別漁獲尾数

サワラの成熟率は5月に最高となる（篠原1993）ので，5月1日を誕生日とし，1年を春漁期（5月～8月)，秋漁期（9～12月)，冬漁期（1月～4月）に分けた。主要漁協の月別漁法別漁獲量と体長組成を灘別漁法別3半期別の漁獲物体長組成に引き伸ばした。更に1987年～1990年の漁獲物体長組成を作成し，体長一年齢変換キー（中村ほか 1989；篠原ほか 1990；武田ほか 1991；戸井ほか 1992）で年齢別漁獲尾数に変換した。

上記4か年に著者らは合計 3,534尾の耳石から年齢を査定したが，秋～冬漁期には尾叉長80cmを越える標本が少なく，3歳以上の年齢を一括した。今回の分析では1991年1～4月の漁獲量と体長組成資料を欠いている。5月から翌年の4月までを漁業年とする。1990年度の年間漁獲尾数を推定できなかった。冬季の漁獲尾数は4年間の平均で年計の5％と小さいので，これを無視し，以下の分析では5～12月の年齢別漁獲尾数を用いた（Table 1)。この際，秋漁期の3歳以上の漁獲尾数を春漁期の年齢別出現割合で各年齢に分割した。

資源評価の方法

完全加入以降の年齢群の全減少係数（Z）は漁獲物曲線から求めた。自然死亡係数（M）は寿命（X_d）から推定し（田中　1960)，ZからMを引いて漁獲係数（F）とした。

部分加入の年齢群のFは完全加入群のFをterminal Fとしたコホート解析（Pope 1992）から求めた。こうして得た現行のFの年齢別のパターンに対し，漁獲尾数の比で年間のFに占める秋漁のFを近似し，秋漁を休漁にした場合のFの年齢別パターンを求めた。

次に，Thompson and Bell 法による加入当り漁獲量解析（Rivard1982）を行ない，最適漁獲係数$F_{0.1}$を求めた。この際，上記2つのFの年齢

Table 1. The catch-at-age data of Spanish mackerel ($\times 10^2$).

Jan.～Apr.

Year	age			
	0	1	2	3+
1987	206	709	323	157
1988	627	460	135	18
1989	696	490	202	63
1990	437	386	45	9

Sept.～Dec.

Year	age			
	0	1	2	3+
1987	4538	1089	73	26
1988	12971	2254	460	27
1989	2804	997	33	19
1990	5802	972	9	14

May～Aug.

Year	age						
	0	1	2	3	4	5	6+
1987		5092	10079	5004	1483	585	0
1988		3923	3769	4736	1366	338	61
1989		4766	3307	1506	883	303	128
1990		588	6143	6262	3274	588	221

May～Dec.

Year	age						
	0	1	2	3	4	5	6+
1987	4538	6181	10152	5022	1488	587	0
1988	12971	6177	4229	4756	1372	339	62
1989	2804	5763	3340	1516	889	305	129
1990	5802	1560	6152	6270	3278	598	221

Note) The fishes of age 3+ from September to December were divided to the older ages based on the proportion of May-August.

別パターンを用い，秋漁の休漁効果を評価した。また，未開発時に対する開発時の産卵量の相対値を再生産の強さの指標として，産卵力と呼び，この値を検討した。年齢別の成熟率は1歳で32.5%，2歳で96.1%，3歳以上で100%であり，また年齢別孕卵数は1歳から6歳＋まで，それぞれ19.8，59.8，115.2，154.0，208.8，322.2万粒（篠原　1993）とした。但し，1歳の雌は雄に比べて大型であり，雌の中でも大型のものが漁獲されやすく，1歳の成熟率は過大に推定されたと仮定し，以下の分析では32.5%を半減して用いた。資源尾数，成熟率，孕卵数を年齢別に掛合わせて，年齢別の産卵量を求め，それらを合計して産卵力とした。なお，年齢別の平均体重を1歳から8歳まで順次，0.75kg，2.3kg，3.5kg，4.3kg，5.0kg，6.0kg，6.5kg，6.5kg（岸田・上田・高尾1985）としたほか，0歳を0.6kgとした。

結　果

内海の漁獲量

サワラの漁獲量は1953年から1975年まで約900トンから約1,700トンの間で変動し，1976年には2,459トンと，初めて2,000トンを越えた（Fig. 2）。1977年以降，毎年3,000トンを越える漁獲があり，1986年には6,255トンと最高になった。その後漁獲量は1990年までにほぼ半減した。

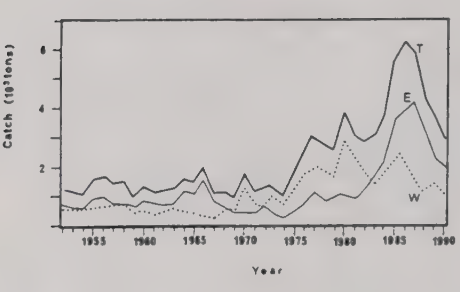


Fig. 2 The Spanish mackerel catch by area.
(T; the Seto Inland Sea total, E; the East Area, W; the West Area)

東部の漁獲量は1981年以降急増し，1987年に4,181トンと最大になったが，その後1990年には2,030トンまでほぼ半減した。1990年の東部の漁獲量は内海全体の69％を占めた。

漁法別には流し網が漁獲量の過半を占めるが，釣りとその他の巻網に分類されるはなつぎ網（約30年振りで1986年に操業が復活した）による漁獲も多い。水道外域から紀伊水道では釣り，大坂湾から備讃瀬戸では流し網が広く行なわれている。前者の漁期は初春と初秋～冬で，後者は春と秋である。

灘別には播磨灘で漁獲量が最も多く，備讃瀬戸，紀伊水道，大阪湾の順に多い。播磨灘では1983年までの漁獲量は102～529トンの範囲にあったが，1984年から漁獲が増加し，1987年には3,004トンと最高に達した後，1990年には 1,372トンに減少した。

流し網の豊度と漁獲物

播磨灘中・南部を操業水域とする五色町漁協の流し網船によるサワラの豊度は年平均で1965年に28kg，1970年に24kg，1975年に21kgと20kg台で推移し，1980年に33kgとやや増加した後，1985年には 124kgと飛躍的に増加した（Fig. 3）。その後1990年には72kgにほぼ半減した。1985年の豊度は1965年の 4.4倍と高かった。このような高い値は少なくとも1987年にも見られた（中村 1991a）。

五色における流し網船の操業状況や漁獲物の銘柄組成の年変化を上述の中村の図から概観すると，1）1965年には秋漁は行なわれていなかった。この時代には春漁でサワラ大（5kg以上）

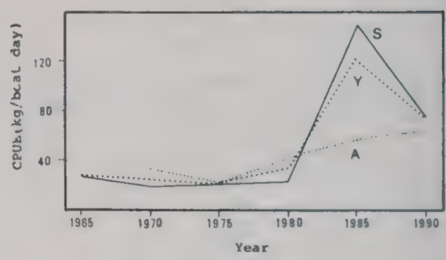


Fig. 3 Trends on the Spanish mackerel CPUE by drift netter in Goshiki.
Based on Nakamura 1991b with suplle-menting the 1990 data.
(S; Spring, A; Autumn, Y; Year total)

が漁獲された；2）サワラ大は1970年以降実質的に見られなくなった；3）1970年と1975年には延べ出漁日数で年間のそれぞれ38％と45％の秋漁が行なわれ，サワラ（1.6～5kg）が主に漁獲された；4）1980年の秋漁でサゴシ（1～1.6kg）が多獲され，「春のサワラ，秋のサゴシ」のパターンになった；5）1985年には7月にサゴシ小（1kg未満）を漁獲した。1987年の秋になると，サゴシ小の漁獲量がサゴシを上回った。

春漁の1尾当りの平均体重は1965年には4kgに近かったが，1990年には1.87kgまで半減した（Fig. 4）。春漁の平均体重の低下は1975年以降緩やかであったが，秋漁の平均体重の低下は1970年以降一貫して続き，漁獲物の小型化が進んだ。

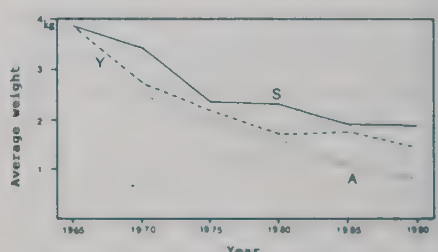


Fig. 4 Trend on average individual weight of the Spanish mackerel caught by drift netter in Goshiki.
Based on Nakamura 1991b with suplle-menting the 1990 data.
(S; Spring, A; Autumn, Y; Year total)

東部のサワラは秋になると紀伊水道や水道外域に回遊して越冬すると言われ，この時期，和歌山県側では比井崎から印南で冬漁が行なわれる。冬漁の代表基地である御坊では1987年以降の漁獲量は平均約10トンで1984年以前の平均約35トンに比べ約３分の１に低下した（Fig. 5）。

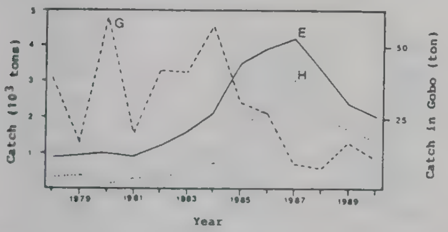


Fig. 5 Trend on the Spanish mackerel catch in the Harima-Nada and that off Gobo within the wintering area.
(E; the East Area, H; the Harima-Nada, G; Gobo)

このように，播磨灘で漁獲量が増加した1984～1987年を境に，紀伊水道以南の越冬場での漁獲量は大きく減少した。

資源の現状評価及び秋漁の休漁効果

1987年から1990年までの４年間の平均の年齢組成を基に漁獲物曲線を描いた（Fig. 6）。この図で２歳から５歳に直線をあてはめ，Ｚを0.75と推定した（$r^2=0.941$，$p<0.05$）。この時，年間の生残率は47％である。

一方，X_dとＭとの間には，$M=2.5/X_d$なる関係がある（田中 1960）。年齢査定では７歳が２尾，８歳が１尾出現したので，８歳を寿命とし，Ｍを0.31，Ｆを0.44と推定した。ＦとＭを比べ，漁獲の影響は自然死亡の 1.4倍であった。

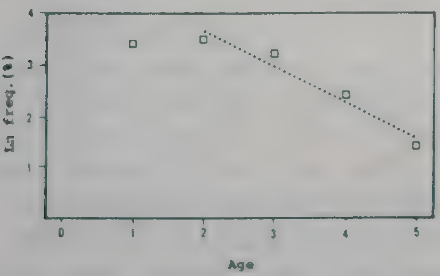


Fig. 6 The averaged catch curve of the Spanish mackerel stock in the eastern Seto Inland Sea during 1987-1990.

完全加入の２歳のＦを0.44として，コホート計算から1986～1988年級について，０歳と１歳のＦを求めた（Table 2）。

それによると，０歳魚と１歳魚の部分加入は平均でそれぞれ0.53と0.74であった。

現行及び秋漁を休漁にした２通りについて，加入当り漁獲量解析を行なった（Table 3）。それによると，$F_{0.1}$は0.27で，この時の１尾当り漁獲量は 0.778kgであった。現状のＦの値は$F_{0.1}$の1.6倍であった。現状のＦの下での漁獲物の平均体重は1.57kg，産卵力は24％となった。

秋漁を休漁にし，$F_{0.1}$の下で漁獲をすると，Ｆ値は0.32で，この時平均体重は2.44kg，１尾当りの漁獲量は 0.825kgとなる。加入が一定なら，春に努力量を27％（0.32／0.44）削減しても，年間の漁獲量は１尾当りの漁獲量の比（0.825／0.778）から６％増加すると期待される。なお，産卵力は$F_{0.1}$の下では40％に改善される。

考　　察

サワラの流し網漁業は従来３～４人の人手を必要とし，支払い労賃に圧迫され，許可があっても着業しない船もあったので，経営体数は多くなかった。1968年にローラー巻きと呼ぶ揚網機が開発されて，２～３年で内海各地に普及し，２人操業（家族労働）が可能となり，経営体数が増加した（中込 1971）。

このような中で，1960年代後半に減少傾向にあった東部サワラの漁獲量は1970年代に増大した。一方，五色町漁協の資料では年間の平均体重が1965年の約４kgから1980年には 2.2kgまで低下し，漁獲物の小型化が進んだ。それらの平均体重は岸田ほか（1985）の年齢別体長と体長一体重関係式からみると，それぞれ４歳と２歳に相当する。15年間に平均体重がほぼ半減した間，流し網の豊度は20kgから30kgの間で推移し，比較的安定していた。1970年代の漁獲量の増大は揚網機が普及し，着業隻数や１隻当りの操業回数が増えたほか，秋漁が行われるようになったためと考えられる。

1980年代の漁獲量は1987年まで増大した後，減少傾向に転じた。1987年を頂点に播磨灘で漁

Table 2. The partial recruitment at age 0 and age 1 estimated by the use of cohort analysis. (M = 0.31, F_2 = 0.44)

Year class	Age (i)	Catch ($\times 10^3$)	Population ($\times 10^3$)	F_i	F_i/F_2
1986	1	6641	27175	0.331	0.75
1986	2	4431	14315	0.440	1.00
1987	0	5165	36767	0.177	0.40
1987	1	6667	22581	0.415	0.94
1987	2	3385	10935	0.440	1.00
1988	0	13667	62467	0.291	0.66
1988	1	6149	34245	0.233	0.53
1988	2	6161	19903	0.440	1.00

獲量が急増した後に，紀伊水道外域の御坊の漁獲量はそれ以前に比べ約３分の１の水準に低下した。聞き取りによると，御坊での操業状況には年変化が少ない。そこでの漁獲量の多寡は越冬期における資源の豊度を反映していると仮定すると，御坊での漁獲量の減少は資源の減少を示していると考えられる。また，1980年代の秋漁で漁獲の主体がそれまでのサワラからサゴシに代わったことはサワラ（２歳魚以上）の減少とその結果としての越冬群の若齢化をうかがわせる。このように1980年代にはサワラ資源に対する開発が一層進んだ。

手短に言えば，1960年代は大サワラも漁獲され，資源には開発余地があった。1970年代には秋漁が行われ，サワラに対する開発が進んだ。1980年代には開発が一層進み，資源が減少・若齢化し，開発が過剰となった。

1987年前後に播磨灘でサワラの漁獲量が高かった理由として以下のことが考えられる；１）1985年の発生量が多く(上田 1990)，この年級が１～３歳の時代，つまり1986年～1988年の間，漁獲量の増大に貢献した；２）1985年頃流し網の材質がナイロンからテグスに変わり，同時に網目が小型化（中村 1991a）し，それまで漁獲の主体が３～４歳であったのが，２歳以下の漁獲割合が増大した；３）1983年級が卓越していた（安部 1993）；４）1982年以前の漁獲量は比較的少なく，1983年級が１歳から３歳までの1984～1986年には資源に余剰があった；５）テグス網の導入は全年齢に羅網性能（漁獲効率）の向上をもたらした可能性がある。なお，小型底曳網へ10cm前後のサワラ稚仔の混入が多かったことから，1986年級の発生も多かった（上田 1990）とする指摘もある。

本研究で年齢組成を調べた４年間は播磨灘で漁獲量が急速に減少した時期に当たる。この期間の平均のＦは$F_{0.1}$の1.6倍で，その漁獲努力の水準は過剰であった。

親子関係が不明な場合，資源量を未開発時の３分の１から２分の１の範囲に管理する簡便な考えがある（土井 1985)。資源量は産卵力に置き換えるのが本来であろう。現在のサワラの産卵力は開発前の24％と低い。これ以下にすべきではないだろう。

サワラのように年々の発生量が比較的大きく振れる魚種では，漁獲量で資源を管理するより，努力量（操業隻数，操業日数）を規制するのが有効である。これまで許可隻数は規制されてきたが，漁具・漁法の改善により実質的な努力量は増加し，現在は過剰な水準にある。今後は漁具・漁法をより細かく規制したり，許可隻数の削減が必要となろう。1990年までには加入に悪化の傾向はないが，今後そのような変化が起こらないか，モニターが必要である。

Table 3. Yield per recruit analysis of the Spanish mackerel.

(a) In the case where the present partial recuitment pattern was used.

Fishing mortality coefficient	Catch (Number)	Yield (Kg)	Average weight (kg)	Yield per unit effort	Relative stock size
0.1000	0.196	0.468	2.386	1.685	0.68
0.2000	0.324	0.675	2.082	1.215	0.48
0.3000	0.413	0.757	1.834	0.909	0.34
0.4000	0.478	0.780	1.633	0.702	0.26
0.5000	0.528	0.776	1.470	0.559	0.20
0.6000	0.568	0.760	1.338	0.456	0.16
0.7000	0.600	0.738	1.230	0.380	0.13
0.8000	0.628	0.716	1.141	0.322	0.10
0.9000	0.651	0.695	1.067	0.278	0.09
1.0000	0.672	0.675	1.005	0.243	0.07
1.1000	0.690	0.657	0.953	0.215	0.06
1.2000	0.705	0.641	0.909	0.192	0.05
1.3000	0.719	0.627	0.871	0.174	0.05
1.4000	0.732	0.614	0.839	0.158	0.04
1.5000	0.744	0.603	0.811	0.145	0.03
$F_{0.1}$ 0.2656	0.386	0.738	1.913	1.000	0.38
F_{max} 0.4251	0.492	0.781	1.589	0.662	0.24

(b) In the case where the fishing was ceased in the autumn season.

Fishing mortality coefficient	Catch (Number)	Yield (Kg)	Average weight (kg)	Yield per unit effort	Relative stock size
0.1000	0.155	0.466	3.005	1.802	0.72
0.2000	0.256	0.699	2.725	1.352	0.54
0.3000	0.327	0.812	2.486	1.048	0.42
0.4000	0.378	0.863	2.284	0.835	0.33
0.5000	0.417	0.880	2.113	0.682	0.27
0.6000	0.447	0.881	1.969	0.568	0.23
0.7000	0.472	0.872	1.845	0.482	0.20
0.8000	0.493	0.858	1.739	0.415	0.17
0.9000	0.511	0.841	1.647	0.362	0.15
1.0000	0.526	0.824	1.566	0.319	0.13
1.1000	0.540	0.807	1.495	0.284	0.12
1.2000	0.552	0.790	1.432	0.255	0.11
1.3000	0.563	0.774	1.375	0.230	0.10
1.4000	0.572	0.758	1.325	0.210	0.09
1.5000	0.581	0.743	1.279	0.192	0.09
$F_{0.1}$ 0.3195	0.338	0.825	2.444	1.000	0.40
F_{max} 0.5493	0.433	0.882	2.039	0.622	0.25

東シナ海産サワラではMを0.15と推定した例(Deshan and Sheng 1983)もある。秋漁を休漁にした場合，その効果が予測より大きければ，Mが仮定した値よりも小さいことの傍証となろう。そのような実験的なアプローチも必要かと考える。Mの値が小さければ，資源管理を行う意味が増す。いずれにしても，資源水準はかなり低下しており，広域的な資源管理を実行すべき時期にある。

文　献

安部恒之, 1993：大阪府における漁獲動向.「サワラの漁業生物学的研究」(林小八編), 本四架橋漁業影響調報, (61), 36-41.

Deshan, Z. and W. Sheng, 1983: The fishery biology and management of the Spanish mackerel in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea. Mar. Fish. Res., (5), 41-62. (in Chinese with English abstract)

土井長之, 1985：水産資源力学入門. 日本水産資源保護協会, 東京, 66pp.

濱崎清一, 1993：東シナ海・黄海に分布するサワラの年齢と成長. 西海研報, (71)：101-110.

林満作・重田瑞穂・藍沢虎馬雄, 1919：鰆漁業調査第1報. 香川水試, 50pp.

岸田達・上田和夫・高尾亀次, 1985：瀬戸内海中西部におけるサワラの年齢と成長. 日水誌, 51(4), 529-537.

永井達樹・岸田達, 1989：瀬戸内海産サワラの漁獲動向. 漁業資源研究会議西日本底魚部会報, (17), 29-41.

中込暢彦, 1971：サワラ資源の利用形態と漁業経営様式（謄写印刷). 水産大学校, 下関, 44pp.

中村行延, 1991a：五色町漁業協同組合鳥飼支所におけるサワラ流し網漁の漁獲動向について. 内海漁業研究会報, (23), 40-49.

中村行延, 1991b：瀬戸内海東部におけるサワラの資源生態調査. 本四架橋漁業影響調報, (57), 170-195.

中村行延ほか, 1989：昭和62年度における瀬戸内海東部サワラ体長ー年齢変換キーについて. 本四架橋漁業影響調報, (53), 514-533.

Pope, J. G., 1992: An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *ICNAF Res. Bull.*, (9), 65-74.

Rivard, D., 1982: APL programs for stock assessment (revised). *Can. Tech. Rep. Fish. and Aq. Sci.*, No.1091, Ottawa, 146pp.

篠原基之, 1993：熟度指数の季節変化と年変化, 成熟率及びよう卵数.「サワラの漁業生物学的研究」（林小 八編), 本四架橋漁　業影響調報, (61), 124-141.

篠原基之ほか, 1990：昭和63年度における瀬戸内海東部サワラ体長ー年齢変換キーについて. 本四架橋漁業影響調報, (55), 25-33.

武田保幸ほか, 1991：平成元年度における瀬戸内海東部サワラ体長ー年齢変換キーについて. 本四架橋漁業影響調報, (57), 54-61.

田中昌一, 1960: 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海研報, (28), 1-200.

戸井真一郎ほか, 1992：平成2年度における瀬戸内海東部サワラ体長ー年齢変換キーについて. 本四架橋漁業影響調報, (59), 10-15.

上田幸男, 1990：播磨灘産サワラの漁業生物学的研究（要旨). 内海漁業研究会報, (22), 62.

1995年12月12日受理（Accepted December 12, 1995)
南西海区水産研究所業績A第42号(Contribution No A46 from the Nansei National Fisheries Research Institute)
本研究の大要は平成5年度日本水産学会春季大会で口頭発表した。

永井達樹：南西海区水産研究所　〒739-04 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5
(T. Nagai: Nansei National Fisheries Research Institute, Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan)
武田保幸：和歌山県水産試験場　〒649-35 和歌山県西牟婁郡串本町串本 1151-1
(Y. Takeda: Wakayama Prefectural Fisheries Experimental Station, kushimoto, Wakayama 649-35, Japan)
中村行延：兵庫県但馬水産事務所試験研究室　〒674 明石市二見町南二見22-2
(Y. Nakamura: Tajima Fisheries Experimental Station,Kasumi, Kinosaki, Hyogo 669-65, Japan)
篠原基之：岡山県水産試験場魚病指導センター　〒708 岡山県津山市二宮1878-1
(M. Shinohara: Fish disease Center, Okayama Prefectural Fisheries Experimental Station, Ninomiya, Tsuyama 708, Japan)
上田幸男：徳島県水産課　〒779-23 徳島県海部郡日和佐町日和佐浦1-3
(Y. Ueta: Tokushima Prefectural Fishery Administration Division, Mandai, Tokushima 770, Japan)
安部亨利：香川県水産試験場　〒761-01 香川県高松市屋島東町75-5
(Y. Abe: Kagawa Prefectural Fisheries Experimental Station, Yashima-higashi,Takamatsu 761-01, Japan)
安部恒之：大阪府立水産試験場　〒599-03 大阪府泉南郡岬町多奈川谷川2926-1
(T. Abe: Osaka Prefectural Fisheries Experimental Station, Tanagawa, Misaki, Osaka, 599-03, Japan)

南西水研研報 (Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.), №29：27-38 (1996)

布刈瀬戸周辺海域からのトラフグ当歳魚の移動

佐藤良三・東海　正・柴田玲奈・小川泰樹・阪地英男

Movement of 0-aged Ocellate Puffer *(Takifugu rubripes)* from Waters in and around Mekari-seto Inland Sea

Ryozo Sato, Tadashi Tokai, Rena Shibata, Yasuki Ogawa and Hideo Sakaji

Tagging experiments of artificially cultured and released, and of natural seeds of 0-aged ocellate puffer were carried out in waters in and around the Mekari-seto area of the Seto Inland Sea, a famous spawning ground of this species. Average percentage recapture rate of those grown from artificial seeds was 3.3 (0.9～5.5) from 1988 to 1992 (total number of fish tagged and released was 25,460), and that of natural seeds was 3.3 (2.0～5.5) from 1991 to 1994 (total number of fish caught, tagged and released was 5,631). Most of recaptures were collected in Bingo・Geiyo-seto, Hiuchi-nada and Bisan-seto within three months after release. Twelve out of the sixteen individuals of artificial seed-origin recaptured over a three month period after release were taken at Aki-nada, Suo-nada, Shibusi Bay, Genkai-nada and Goto-nada, and four in areas to the east of the release site in Harima-nada and Osaka Bay. On the contrary, twenty-one of natural seed-origin were recaptured at Suo-nada, Iyo-nada, Bungo Strait, Hyuga-nada and Goto-nada, but no recaptures were found in eastern waters of the Seto Inland Sea. Thus, we obtained information on the migration pattern of ocellate puffer in the Seto Inland Sea, although there seems to be some differences between those grown from artificial and natural seeds. It is noteworthy that one adult individual of artificial seed-origin was recaptured in the spawning season at area adjacent to the release site. This suggests the possibility that ocellate puffer return to their natal spawning ground like in Salmonidae.

key words: tagging experiment, 0-aged ocellate puffer, Seto Inland Sea

布刈瀬戸はわが国におけるトラフグ*(Takifugu rubripes)*の主要な産卵場の一つである。その周辺海域では３月下旬から６月上旬に定置網，吾智網，一本釣りなどで親魚が漁獲され，産卵盛期は５月上・中旬である。ふ化仔魚の生態は断片的にしか解明されていないが，６月下旬頃から付近の海域で全長２～3cmの稚魚が採取され，８月中・下旬には三原瀬戸の通称“ミゾ”と呼ばれる海域で全長10cmの幼魚が小型底びき網で混獲される。しかし，９月中・下旬になると次第に混獲尾数は少なくなり，燧灘或いはより西方海域へ移動するものと推測されている。また，佐藤ほか(1995)は，アイソザイム分析，漁業実態調査などから，瀬戸内海にトラフグの系群が２～３つ存在する可能性及び“生まれ故郷の産卵場への回帰性”という仮説を提唱している。

近年，トラフグの主漁場である黄海，東シナ海，玄界灘及び瀬戸内海における漁獲量に減少傾向が認められ，資源の維持・増大を図るための有効な方策の確立が急務となっている。そこ

で，トラフグ人工種苗当歳魚の標識放流試験が盛んに行われているが，再捕魚の多くは放流地点の周辺海域で再捕され，資源培養に必要な知見の蓄積は十分ではない。また，天然魚との比較検討も十分行われていない。本研究では，トラフグの有効な資源培養技術を確立するために，産卵場及び稚仔魚の成育場である布刈瀬戸周辺海域から当歳の人工種苗及び天然魚を標識放流し，放流後の移動・回遊を再捕資料を用いて比較検討した。

本文に入るに先立ち，校閲を賜った南西海区水産研究所資源管理部長正木康昭博士，人工種苗を快く分与していただいた日本栽培漁業協会屋島事業場長及び職員各位，人工種苗の中間育成，天然魚の入手及び標識放流にご協力いただいた尾道市吉和漁業協同組合の山本正直組合長と笹井満雄理事及び組合員各位，標識装着にご協力いただいた尾道水産青年協議会会員各位，広島県尾道農林水産事務所水産課職員各位，南西海区水産研究所資源管理部及び資源増殖部の部員各位，また種苗の運搬及び標識放流にご協力いただいた南西海区水産研究所の後藤幹夫技官に深謝する。

材料と方法

標識放流試験に用いたトラフグ当歳魚の放流日，放流場所，放流尾数，平均体長をTable 1に示した。トラフグ人工種苗は，日本栽培漁業協会屋島事業場で受精，飼育された稚魚を広

Table 1. Recapture data of tagged ocellate puffer released in the sea area adjacent to the Mekari-seto

Seed	Date of release	No. of fish released	Size of seed[1]	Site of releasing	Number of recaptures (percentage of recapture)[2] 1st month	2nd month	3rd month	4th month ～	Total season
Artificial	Sep. 13. '88	5,000	97	Hosonosu	29	10	0	6	45
			39.0		(64.5)	(22.2)	(0)	(13.3)	(0.9)
	Sep. 6. '89	3,500	116	Hosonosu	131	37	11	11	190
			61.8		(68.9)	(19.5)	(5.8)	(5.8)	(5.4)
	Aug. 31, '90	10,160	107	Hosonosu	121	90	25	25	261
			50.2		(46.3)	(34.5)	(9.6)	(9.6)	(2.6)
	Sep. 11. '91	3,300	113	Hosonosu	120	47	7	6	180
			57.8		(66.7)	(26.1)	(3.9)	(3.3)	(5.5)
	Sep. 11. '92	3,500	101	off Hyakukan	44	21	3	5	73
			43.3	Island	(60.3)	(28.8)	(4.1)	(6.8)	(2.1)
	Total	25,460	107		445	205	46	53	749
			50.4		(61.3)	(26.2)	(4.7)	(7.8)	(3.3)
Natural	Sep. 18. '91	3,100	107	Hosonosu	57	3	0	1	61
			45.2		(93.5)	(4.9)	(0)	(1.6)	(2.0)
	Sep. 15. '92	384	119	off Hyakukan	1	1	2	9	13
			64.4	Island	(7.7)	(7.7)	(15.4)	(69.2)	(3.4)
	Sep. 24. '93	694	122	off Yuge	9	2	1	2	14
			70.0	Island	(64.3)	(14.3)	(7.1)	(14.3)	(2.0)
	Sep. 8. '94	1,453	114	off Yuge	54	10	4	16	84
			55.8	Island	(64.3)	(11.9)	(4.8)	(19.0)	(5.8)
	Total	5,631	116		121	16	7	28	172
			58.9		(57.5)	(9.7)	(6.8)	(26.0)	(3.3)

1) Average body length in cm (above), estimated average body weight in g (below)
2) Percentage of total number of recaptured fish taken in each monthly period



Fig.1 Map of the sea areas where recaptures of tagged ocellate puffer occurred. Symbols of each sea area adjacent to Mekari-seto are designated for this study. ● : release site.

島県向島の山本正直氏の生簀へ運び，中間育成した魚を用いた（平均体長97～116mm)。なお，1989年の3,500尾及び1990年の5,540尾の種苗は鹿児島県東町産のトラフグ親魚を受精に使い，その他の種苗は瀬戸内海産のトラフグ親魚を用いた。一方，天然当歳魚は，三原瀬戸の通称“ミゾ”と呼ばれる漁場で，尾道市吉和漁業協同組合所属の小型底びき網漁船により漁獲された平均体長が107～122mmの魚であった。放流は，1988～1992年の8月下旬或いは9月上・中旬に人工種苗を3,300～10,140尾，1991～1994年9月上～下旬に天然当歳魚を384～3,100尾を，1991年以前は布刈瀬戸に隣接した細ノ洲で，1992年以降は百貫島と弓削島の間の海域で行った(Fig. 1)。標識は1988年にはアンカータグのみを，1989年にはアンカータグのほかに，直径10mmの赤色，青色ディスクをアンカータグで，1990年以降は直径10mmの黄色ディスク（ナンセイ，下2桁の年，天然魚には年の後にNを刻印）をアンカータグで背鰭後方に装着させた。そして，瀬戸内海及び九州沿岸の漁業協同組合，各府県の水産試験場・農林水産事務所，下関市南風泊魚市場，大分県臼杵市木梨フグ店，広島県内海町カネト水産などから得られた再捕報告をまとめた。放流地点の近海におけるトラフグ当歳魚の移動を詳細に検討するために，備後・芸予瀬戸，燧灘及び備讃瀬戸，安芸灘の一部を200カイリ水域内漁業資源総合調査（瀬戸内海域）の漁区区分を参考に16漁区に分け，コードを付した（Fig. 1)。

結　果

人工種苗の5カ年の平均再捕率は3.3%（0.9～5.5%）であった（Table 1)。時期別再捕割合は，放流後1カ月以内では平均61.3%（46.3～66.7%)，2カ月目は26.2%(20.1～34.5%)，3カ月目は 4.7%（0～9.6%)，3カ月以降では7.8%（3.3～13.3%）であった。3カ月以内の再捕場所は何れも放流地点近海の備後・芸予瀬戸，燧灘であった。3カ月以降に計53尾が再捕され（Table 1)，そのうち周辺海域で37尾（70%）が再捕された（Table 2)。その中の1尾は1992年に百貫島と弓削島の間で放流した人工種苗で，1年半後の産卵期の1994年4月28日に弓削島沖の定置網で2kgで再捕された。

Table 2. Records of recaptures of artificial and natural seed-origin 0-aged ocellate puffer in neighboring waters to Mekari-seto over the three months after release.

Seed	Year[1)]	Date of recapture[2)]	Sea area[3)]	Fishing gear	Number of recaptures	Size at recapture[4)]	
Artificial	1988	Jan.15,'89 (4)	R_2	trawl	1	18.1	117
		Feb.28,'89 (5)	S_2	trawl	1	10	—
		May 2,'89 (7)	E_1	setnet	1	14.5	60
		Jun. 5,'89 (8)	R_2	setnet	1	18	100
		Jul.21,'89 (10)	W_1	trawl	1	20	400
	1989	Dec.22,'89 (3)	W_1	gillnet	1	20	160
		Jan.28,'90 (4)	S_2	trawl	1	—	—
		Mar.25,'90 (6)	SW_1	gillnet	2	13, 10.5	—
	1990	Dec. 6,'90 (3)	R_2	gillnet	1	20	165
		Dec.13,'90 (3)	R_1	gillnet	1	13	50
		Dec.17,'90 (3)	R_2	trawl	6	18	—
		Dec.25,'90 (3)	SE_1	trawl	1	18	220
		Dec.30,'90 (3)	R_2	setline	2	14, 13	105, 90
		Jan.10,'91 (4)	S_1	trawl	1	23.6	—
		Jan.20,'91 (4)	R_2	gillnet	1	—	—
		Jan.22,'91 (4)	S_1	trawl	1	16	200
		Jan.23,'91 (4)	S_1	trawl	1	—	—
		Jan.26,'91 (4)	R_2	trawl	1	—	—
		Feb.10,'91 (5)	R_2	trawl	1	—	—
		Apr.16,'91 (7)	R_2	setnet	1	19	190
		Apr.22,'91 (7)	R_2	setnet	1	17	170
		Jun.20,'91 (9)	S_1	trawl	1	18	—
	1991	Dec.21,'91 (3)	W_1	gillnet	2	13	—
		Dec.21,'91 (3)	W_1	gillnet	2	12	—
		Jan.27,'92 (4)	W_1	trawl	1	23	—
	1992	Jan. 4,'93 (3)	SE_1	trawl	1	17	150
		Apr.20,'93 (7)	SSE_1	trawl	1	20	180
		Apr.28,'94 (19)	R_2	setnet	1	—	2000
Natural	1992	Jan.13,'93 (3)	SS_1	seine	1	20.1	157
		Jan. —,'93 (4)	SS_2	trawl	1	25	300
		Apr.14,'93 (6)	R_2	setnet	1	22	450
		Nov. —,'93 (14)	R_2	trawl	1	17	—
	1994	Dec.28,'94 (3)	R_2	angle	1	19	—
		Jan. 8,'95 (4)	R_2	trawl	1	20	180
		Feb.17,'95 (5)	SS_2	trawl	1	22	220

1) Releasing year. 2) Months elapsed in parenthesis. 3) See Fig.1. 4) Body length (cm), body weight (g)

Table 3. Number of recaptures of artificial seed-origin ocellate puffer in each sea area adjacent to Mekari-seto. Recapture sites of some individuals can not be specified.

Year[1]	Month of recapture	Sea area[2]															
		W_1	R_1	R_2	E_1	E_2	E_3	SW_2	SW_1	S_1	S_2	SE_1	SE_2	SS_1	SS_2	SSE_1	SSE_2
1988	1st	1	14	7	6						1						
	2nd		6	2	1						1						
	3rd																
	4th～	1		2	1						1						
1989	1st	84	12	13	4		1	4	4	1							
	2nd	12	7	3	6			2	1							2	1
	3rd		3	5	2								1				
	4th～	1							2		1						
1990	1st	42	7	38	20	2				3		2					
	2nd		27	27	10			1	1	1	5	4	2	3		1	2
	3rd	3	8	8					1		1	1	1				
	4th～		1	14						4		1					
1991	1st	8	2	61	24	5				7	3	3	2	4			
	2nd	10	1	19	3	1					2	2		2		1	
	3rd	2		2													
	4th～	5															
1992	1st			2	28	1						9	2	2			
	2nd	1		4	14							1	1				
	3rd											2	1				
	4th～			1								1				1	

1) Releasing year. 2) See Fig.1.

Table 4. Number of recaptures of natural seed-origin ocellate puffer in each sea area adjacent to Mekari-seto. Recapture sites of some individuals can not be specified.

Year[1]	Month of recapture	Sea area[2]															
		W_1	R_1	R_2	E_1	E_2	E_3	SW_2	SW_1	S_1	S_2	SE_1	SE_2	SS_1	SS_2	SSE_1	SSE_2
1991	1st			55	2												
	2nd		1	2													
	3rd																
	4th～																
1992	1st				1												
	2nd			1													
	3rd										1				1		
	4th～			2										1	1		
1993	1st			8		1											
	2nd											1	1				
	3rd											1					
	4th																
1994	1st			49	1							2	1				
	2nd			10													
	3rd			3													
	4th～			2											1		

1) Releasing year. 2) See in Fig.1.

天然標識放流魚の4カ年の再捕率は人工種苗と同様に,3.3%(2.0～5.7%)であった(Table 1)。時期別再捕割合は，1カ月以内が平均57.5%(7.7～93.5%)，2カ月目は9.7%（4.9～14.3%)，3カ月目は6.8%（0～15.4%)，3カ月以降は26.1%（1.6～69.2%）であり，1カ月以内と3カ月以降の再捕割合に大きな年変動が認められた。3カ月以内の再捕場所は，1994年の1尾が85日後に伊予灘で再捕された以外，放流周辺海域の備後・芸予瀬戸，燧灘であった。3カ月以降に計28尾が再捕され，そのうち7尾(25%)が周辺海域で再捕された（Table 2)。

放流地点の周辺海域におけるトラフグ当歳魚の移動を詳細に検討するために人工種苗と天然魚の漁区別，時期別の再捕尾数を各々 Table 3及び4に示した。1988 年に漁区R_1で放流した群は西方の漁区W_1で僅か2尾が再捕されたほかは，R_1区で20尾（45%）及びその東の漁区R_2，E_1で22尾（50%）が再捕され，南方向へは3尾（7%）が移動した。1989年の放流群は西方の漁区W_1で97尾（57%）が再捕され，東方へは34尾（20%)，南方向へは南西13尾を含む計18尾（11%）が移動した。なお，東方へ移動したうちの1尾は放流後11日目に備讃瀬戸のE_3漁区で再捕された。1990年は，西の漁区W_1での再捕は45尾（19%）であり，東の方向へは119尾（49%）と多かった。一方，南方向へは南西3尾を含む計34尾(14%)が移動した。1991年は，東方の漁区R_2，E_1，E_2では115尾(68%）が再捕された。西の漁区W_1では25尾(15%）が再捕され，南或いは南東方向へは26尾（15%）が移動した。1992年の放流地点がR_2であったことも影響したためか，放流漁区より東方向へ43尾（61%）が移動し，かつ南東方向でも20尾（28%）が再捕されたことが注目される（Table 3)。以上人工種苗の移動についてまとめてみると，1988，1992年の種苗では西方向へ移動した個体はそれぞれ5，1%に過ぎなかったが，1989～1991年の種苗は西或いは南西方向へ約32%が移動しており，年による移動方向に相違が認められた。一方，天然魚では，1991年の再捕魚の92%が放流漁区(R_1）の東隣で1カ月目に再捕され，1994年では86%が放流した漁区 R_2で2カ月以内に再捕された。1992，1993年では再捕尾数は少ないものの2カ月以降10尾（45%）が放流漁区(R_2）の南東部の漁区で再捕された（Table 4)。天然魚では人工種苗でみられたような沿岸よりの漁区への広がりがほとんどなかったのが特徴である。人工種苗と天然魚の間で移動の違いが認められたが，1994年放流の天然魚の1尾を除き，どちらの種苗も放流後3カ月以内は備後・芸予瀬戸，燧灘及び備讃瀬戸で再捕された。これら周辺海域から標識魚が移動を始めるのは早くとも放流後3カ月以降であり，遠方の各海域で一番早く再捕されたのは，伊予灘で3カ月目，豊後水道で4カ月目，志布志湾で6カ月目，五島灘で14カ月目であり，大阪湾では6カ月目であった(Table 5)。

人工種苗の遠方海域で再捕された例としては，放流地点より東方の海域，播磨灘1例（1988年：姫路沖)，大阪湾3例（1989年：神戸沖，沖の瀬，1991年：淀川河口）の計4例がある（Fig. 2)。一方，西方海域の再捕例としては，安芸灘で2例（1989年：由宇沖，1990年：岩国沖)，伊予灘で2例（1989年：場所不明，1990年：光沖)，周防灘で3例（1989年：宇島沖，1990年：厚狭沖，1992年：曽根沖)，志布志湾で2例，玄界灘で1例（1990年：玄海島沖)，五島灘で2例(1990，1992年）の計12例がある(Fig. 2)。天然魚の遠方海域での再捕例は，伊予灘で7例(1993年：姫島沖，1994年：国東沖2尾，光沖，別府沖，場所不明2尾)，周防灘で2例(1994年：徳山沖)，豊後水道で9例（1992年：保戸島沖2尾，場所不明，1993年：臼杵沖，1994年：佐賀関沖2尾，臼杵沖，佐伯沖，場所不明)，日向灘で1例（1991年：日向沖)，五島灘で2例（1992年：平戸島沖，場所不明）の計21例がある（Fig. 3)。天然魚では放流地点より東の遠方海域で再捕されず，人工種苗の中には天然魚とは回遊方向が異なる個体が生じることが示唆された。また，人工種苗では志布志湾の2尾のほかに伊予灘北部海域及び周防灘で5尾が再捕された（Fig. 2）が，天然魚では伊予灘中・南部海域及び豊後水道で12尾と再捕の多かったこと（Fig. 3）が特徴づけられる(伊予灘での再捕場所が特定できなかった個体

Table 5.　Records of artificial and natural seed-origin of 0-aged ocellate puffer in areas distant from the release sites used in this study.

Seed	Year[1]	Date of recapture[2]	Sea area	Fishing gear	Size at recapture[3]	
Artificial	1988	Oct.15,'89 (13)	Harima-nada	trawl	—	—
	1989	Jan.17,'90 (4)	Aki-nada	longline	22	300
		Feb.12,'90 (5)	Shibushi Bay	setnet	20	—
		Mar. 8,'90 (6)	Iyo-nada	trawl	21.8	275
		Apr. 5,'90 (6)	Suo-nada	setnet	16	—
		Apr.23,'90 (7)	Shibushi Bay	setnet	23	260
		May 25,'90 (8)	Osaka Bay	trawl	20	350
		Sep.13,'90 (12)	Osaka Bay	trawl	27	—
	1990	Jan.10,'91 (4)	Aki-nada	trawl	20	—
		Aug.26,'91 (11)	Suo-nada	setnet	—	—
		Oct. 9,'91 (13)	Goto-nada	longline	40	700
		Oct.14,'91 (13)	Iyo-nada	longline	15	400
		Dec. 5,'91 (15)	Genkai-nada	longline	40	900
	1991	Apr. 9,'92 (6)	Osaka Bay	trawl	20	220
	1992	Apr.24,'93 (7)	Suo-nada	setnet	17	156
		Dec.18,'93 (15)	Goto-nada	basket net	32	800
Natural	1991	May 9,'92 (7)	Hyuga-nada	setnet	25.5	400
	1992	Jan. —,'93 (4)	Bungo Strait	longline	27	330
		Oct.17,'93 (13)	Bungo Strait	longline	38	700
		Nov. 6,'93 (13)	Goto-nada	longline	40	1000
		Nov.25,'93 (14)	Bungo Strait	longline	36	680
		Dec. 7,'93 (14)	Goto-nada	longline	—	900
	1993	Sep. 4,'93 (11)	Bungo Strait	—	35	650
		Nov.23,'93 (13)	Iyo-nada	longline	20	250
	1994	Dec. 2,'94 (2)	Iyo-nada	—	27	300
		Dec.15,'94 (3)	Suo-nada	—	25	300
		Dec.22,'94 (3)	Iyo-nada	longline	26	300
		Jan. 4,'95 (3)	Suo-nada	—	—	300
		Jan. 8,'95 (4)	Bungo Strait	longline	—	300
		Jan.26,'95 (4)	Iyo-nada	longline	—	—
		Feb.12,'95 (5)	Bungo Strait	longline	27	350
		Feb.24,'95 (5)	Iyo-nada	longline	25	400
		Jul. 5,'95 (9)	Iyo-nada	longline	25	500
		Aug.17,'95 (11)	Iyo-nada	longline	34.5	876
		Sep. 5,'95 (11)	Bungo Strait	longline	38	650
		Sep. 8,'95 (12)	Bungo Strait	longline	22	600
		Sep.14,'95 (12)	Bungo Strait	—	36	1000
		Sep.29,'95 (12)	Iyo-nada	longline	25	700

1) Releasing year. 2) Months elapsed in parenthesis. 3) Body length (cm), body weight (g).

を除く)。

次に，人工種苗及び天然魚の成長を明らかにするために，周辺海域で再捕された群と遠方海域で再捕された群の経過月数（X）と再捕時の体重（Y）の関係について検討した。ただし，3カ月以内に放流地点の周辺海域で再捕された魚については経過月毎の平均体重を求めてプロットし，約20カ月後に親魚として産卵場周辺海域で再捕された魚は除いた。周辺海域人工種苗：$Y=16.7X-63.3$（$F_o=6.61^*$：$f_1=1, f_2=16$），周辺海域天然魚：$Y=50.7X+16.3$（$F_o=17.26^{**}$：$f_1=1$, 5），遠方海域人工種苗：$Y=56.57X-119.4$（$F_o=25.09^{**}$：$f_1=1$, $f_2=8$），遠方海域天然魚：$Y=43.8X+148.2$（F_o =

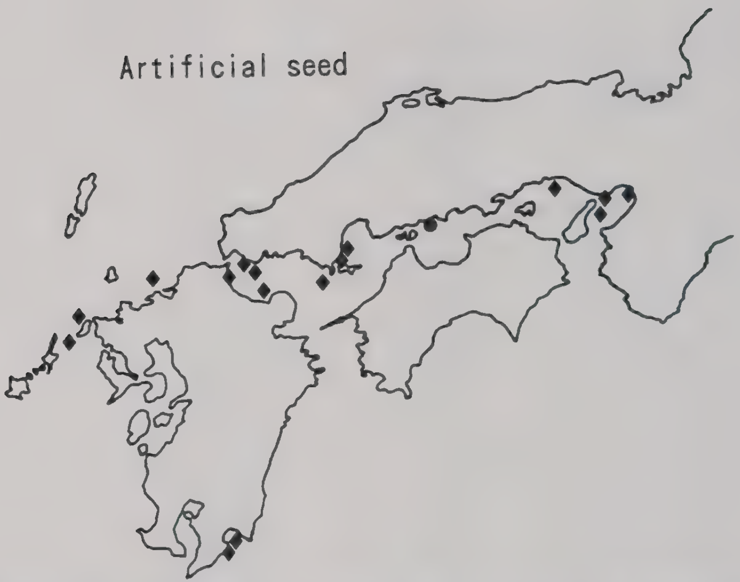


Fig.2 Recapture site of tagged artificial seed-origin 0-aged ocellate puffer in areas distant from the release site. ●：release site.

23.69**：$f_1=1$，$f_2=18$）であり，全ての群について統計学的に直線回帰式を求めることができた。人工種苗の周辺海域群と遠方海域群との間では直線の傾きが $F_o=10.87^{**}$（$f_1=1$，$f_2=25$）と１％水準で有意差が認められ，遠方へ移動した魚の方が成長速度の早いことが示唆された（Fig. 4）。天然魚においては，周辺海域群が遠方海域群に比べやや体重が小さめであったが，傾き及び高さとも有意差は認められなかった。人工種苗と天然魚の周辺海域群を比較すると，天然魚の傾きが大きく（$F_o=5.62^{*}$：$f_1=1$，$f_2=22$），成長速度の早いことが示唆された（Figs. 4，5）。人工種苗と天然魚の遠方海域群を比較すると，天然魚の方が重く（$F_o=5.43^{*}$：$f_1=1$，$f_2=26$），9.5カ月後の修正平均値は天然魚が565ｇ，人工種苗が421ｇであった。

考　　察

人工種苗の移動方向が年によりやや傾向の異なることが認められた。1989年の放流群では放流海域から西の漁区で，1991，1992年には東の漁区での再捕が顕著であった。天然魚においても1991年に放流海域の東の漁区で，1994年には放流した漁区で大部分が再捕されたが，1992年には尾数は少ないものの燧灘の南東部海域での再捕割合が多く，年による違いが認められた。1992年に放流地点を従来より南東約20kmの海域，すなわちR_1区からR_2区への変更したこと（Fig. 1）が再捕場所の年変動を生じさせた一因としても考えられるが，放流サイズ，放流時期，潮流などの影響を含めて今後の検討が必要であろう。日本栽培漁業協会(1995)によると，鹿児島県東町産の親魚に由来する種苗は放流後９～12カ月に瀬戸内海全域に分散したのに対して，瀬戸内海産では玄界灘，対馬海峡に分散する傾向があったと報告されている。本研究においても東町産由来の人工種苗を1989年に3,500尾，1990年に5,460尾放流したが，周辺海域及び遠方海域における移動方向の違いについて十分検討できる結果は得られなかった。しかし，親魚の由来による移動方向の違いが生じる可能性については十分配慮する必要があろう。

人工種苗と天然魚の各々で再捕場所に年変

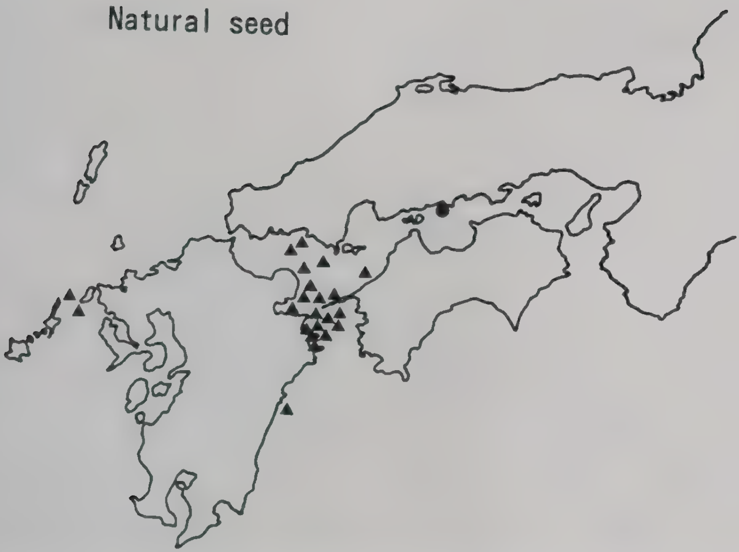


Fig. 3 Recapture site of tagged natural seed-origin 0-aged ocellate puffer in areas distant from the release site. ● : release site.

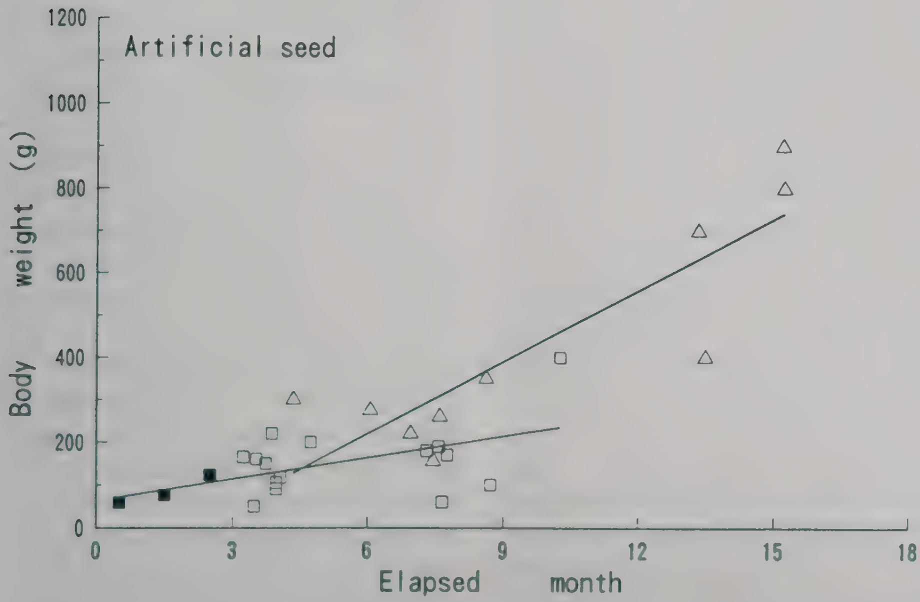


Fig. 4 Relationship between the number of elapsed month after release and body weight of recaptured ocellate puffer in artificial seed-origin. □ : recaptures in neighboring waters to Mekari-seto. ■ : average value. △ : recaptures at areas distant from the release sites.

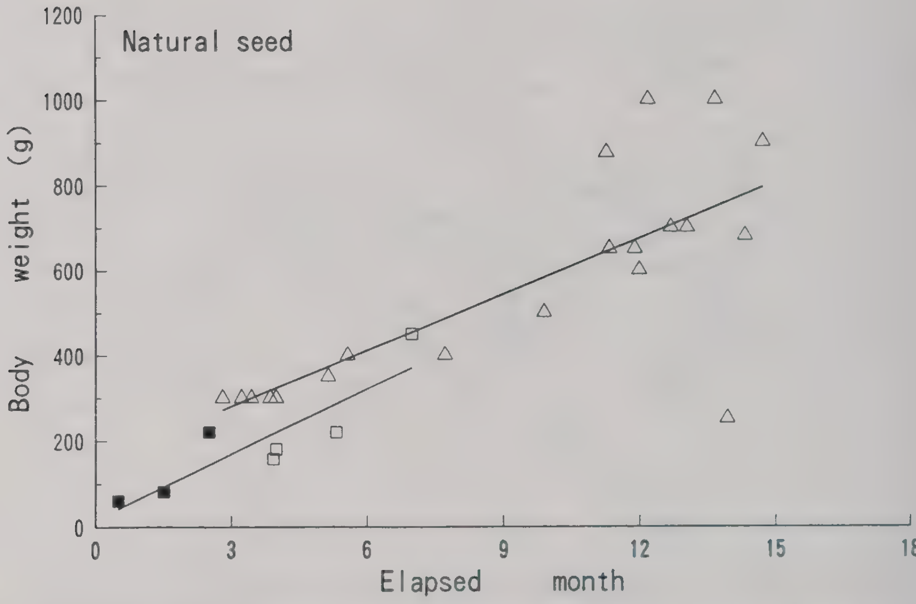


Fig. 5 Relationship between the number of elapsed month after release and body weight of recaptured ocellate puffer in natural seed-origin. □ : recaptures in neighboring waters to Mekari-seto. ■ : average value. △ : recaptures at areas distant from the release sites.

動が認められたものの，前者が沿岸沿いの東西の漁区で多く再捕されたのに比べ，天然魚ではそのような傾向がほとんど認められなかった。伊予灘周辺海域では尾鰭の変形した放流由来と考えられる魚が岸よりで多く漁獲されるという情報があり，魚の大きさこそ小さいものの，本研究で認められた人工種苗が沿岸よりで多く再捕されたことと一致している。また，人工種苗の場合，放流地点より西方の安芸灘，伊予灘，周防灘，豊後水道，志布志湾，玄界灘及び五島灘で12尾が再捕されているほか，東方の播磨灘や大阪湾においても計4尾が再捕された（Table 5）。日本栽培漁業協会（1989～1995）によると，布刈瀬戸で行った当歳魚人工種苗の標識放流試験においても，西方の海域で12尾が再捕されたほかに播磨灘，紀伊水道で各1尾が再捕されている。本研究や伊東ほか(1987)が布刈瀬戸で行った標識放流試験では，天然当歳魚が東方の海域では1尾も再捕されていない。このようなことから，人工種苗の主な群は天然魚と同様に成長に伴い安芸灘，周防灘，伊予灘などの内海域或いは豊後水道，志布志湾，玄界灘，五島灘などの外海域へ移動するが，一部の群は天然魚とは異なった回遊経路をとるものと考えられる。

本研究において，遠方の海域で再捕された人工種苗16尾中5尾が，天然魚22尾中19尾が伊予灘，周防灘，豊後水道で再捕された。また，人工種苗において志布志湾で再捕された2尾，玄界灘の1尾，五島灘の2尾，さらに天然魚の日向灘の1尾，五島灘の2尾は，おそらく伊予灘，豊後水道或いは周防灘を通過して外海域へ回遊したものと考えられる。1994年の天然魚では14尾全てがこの3つの海域で再捕され，日向灘或いは玄界灘，五島灘での再捕がないことは不思議であるが，伊東ほか(1987)による布刈瀬戸からの当歳魚の標識放流試験では，11カ月後に伊予灘で，また2年2カ月後に済州島西方で再捕されており，本研究の結果とほぼ一致している。Tokai *et al.*(1995)は伊予灘，豊後水道域のある年の漁獲量と，その2年後の布刈瀬戸周辺海域の春の親魚の漁獲量との間に0.941（自由度

18）と高い相関関係のあることから，伊予灘，豊後水道域が布刈瀬戸生まれのトラフグの成育場であることを推測している。このように，伊予灘，周防灘，豊後水道域が布刈瀬戸生まれのトラフグの成育場或いは移動・回遊経路であることはまず間違いないであろう。一方，檜山（1981）は漁業実態調査から関門内海の産卵場生まれのトラフグが成長するに伴い周防灘，伊予灘及び豊後水道域へ回遊することを推測している。また，寿ほか（1990）が伊予灘，豊後水道で行った天然魚の標識放流試験では，当歳魚は伊予灘，周防灘（豊前海沿岸），山口県日本海側及び志布志湾で，1歳魚は豊後水道或いは日向灘沿岸と伊予灘で再捕されており，布刈瀬戸周辺海域での再捕はなかった。以上のことから，伊予灘，豊後水道及び周防灘の海域では，少なくとも布刈瀬戸，関門内海の産卵場生まれのトラフグが生息することが推測される。今後は，これらの群がどのように混合しているか，また，布刈瀬戸生まれのトラフグがどの程度これらの海域に滞在するか，そしてどの程度が太平洋海域へ或いは関門海峡から玄界灘，五島灘などへ出ていくかについての量的な把握が必要であろう。

標識放流試験から，放流地点と再捕地点，再捕されるまでの期間，再捕されたときの体のサイズ（個体識別すればその期間の成長も）の情報が得られるが，どのような海域を回遊していたかの情報を得ることができない。再捕尾数が多ければ，個々の魚の再捕状況から時空間的な追跡もある程度可能になるであろう。しかし，生後3～4カ月の当歳魚の標識放流試験では，大部分が短期間に放流地点の近海で再捕され，放流事業へ役立たせるためにも放流後3カ月以降の回遊，生残率に関する知見の蓄積が必要であろう。本研究の人工種苗の3カ月以降に再捕された尾数は16，天然魚においても29であり，トラフグの移動・回遊を推定して行くためには十分な情報とは言えない。標識としてアンカー・タグやアンカーディスク・タグを用いたが，再捕率の低い原因として標識の脱落，埋まり込み，生残率の低さ及び標識の汚れによる見逃しなどが考えられる。今後は，生残率，脱落率などの点で優れた外部標識の早急な開発や，放流尾数の増加が必要であろう。

再捕時の魚体の大きさの情報から放流魚の成長について検討した。なお，人工種苗の場合，尾鰭の欠損及び再生により全長の測定値に大きな誤差を生じることから，この検討には体重を用いた。解析には，人工種苗と天然魚を別々に，周辺海域で再捕された群と遠方海域で再捕された群について再捕までの経過日数と再捕時の体重の直線回帰式を求め，共分散分析を用いた。その結果，天然魚の成長が人工種苗に比べて良く，人工種苗では遠方海域群の成長速度が周辺海域群に比べて早いという傾向が認められた。再捕の情報をよせる報告者は不特定多数であり，測定がどのような精度で行われたかの情報がないことから，厳密な比較はできない。そのような意味では統計学的検定は必要なかったかもしれないが，再捕時の大きさの目安として十分に参考となるであろう。今回はほぼ予想通りの結果が得られたが，今後も標識放流試験の再捕報告でより精度の高い情報が得られるようなシステムの確立及び教宣活動が必要であろう。

標識放流試験の目的には，回遊経路の推定のほかに生まれ故郷の産卵場への回帰性の証明がある。佐藤ほか(1995)は“トラフグが生まれ故郷の産卵場へ回帰する”という仮説をたて，標識放流による直接的証明を試みてきた。その結果，本研究により1例ではあるが，人工種苗当歳魚が約20カ月後の産卵期に放流地点に近い弓削島の定置網で再捕された（Table 2）。このトラフグが約20カ月の間その周辺海域で生息し，成長したという可能性を否定することはできないが，内海より外海域での成長が良いことから，一度外海域へ出て大きく成長して回帰したと考えた方が妥当ではないであろうか。佐藤ほか*1が1994年5月中旬の産卵期に布刈瀬戸で行った親魚の標識放流試験において，産卵期以外の時期に玄界灘，五島灘及び志布志湾で再捕され，1995年の産卵期には5尾が産卵場の周

＊鈴木伸洋・山本正直・柴田玲奈・佐古　浩・後藤幹夫．1995 9トラフグ親魚の標識放流試験による瀬戸内海の産卵場への回帰性の検証．平成7年度日本水産学会講演要旨，42pp．

辺海域で再捕された。最近，トラフグの稚魚期のＡＬＣ染色により親魚となって産卵場への回帰が確認されたという情報（松村　私信）もある。以上述べたように，トラフグの産卵場への回帰説は標識放流試験により実証されつつあり，今後さらに回帰性の正確さに関する知見が蓄積できれば，トラフグの資源培養事業への貢献が期待される。

引 用 文 献

檜山節夫，1981：山口県内海域におけるトラフグ資源の管理について．山口内水試研報，**8**:40-50.

伊東　弘・山口義昭，1987：瀬戸内海中西部海域におけるトラフグの分布と移動．漁業資源研究会議・西日本底魚部会報，**15**:19-28.

寿　久文・上城義信・大石　節，1990：瀬戸内海西部および豊後水道域におけるトラフグの移動・回遊について．大分水試調研報，**14**:13-28.

日本栽培漁業協会，1989：日本栽培漁業協会事業年報・昭和62年度：327-330.

日本栽培漁業協会，1990：日本栽培漁業協会事業年報・昭和63年度：357-358.

日本栽培漁業協会，1991：日本栽培漁業協会事業年報・平成元年度：311-314.

日本栽培漁業協会，1992：日本栽培漁業協会事業年報・平成２年度：354-357.

日本栽培漁業協会，1993：日本栽培漁業協会事業年報・平成３年度：326-330.

日本栽培漁業協会，1995：日本栽培漁業協会事業年報・平成５年度：317-323.

佐藤良三・小嶋喜久雄，1995：トラフグの分布・回遊特性．漁業資源研究会議報，**29**：101-113.

Tokai, T., R.Sato, H.Ito and T.Kitahara, 1995: Short-term forecasting of landings of ocellate puffer *Takifugu rubripes* migrating aroud a spawning area in the Inland Sea of Japan. *Fisheries Sci.*, **61**:428-433.

1995年12月12日受理（Accepted December 12, 1995）
南西海区水産研究所業績Ａ第43号
（Contribution No.A43 from the Nansei National Fisheries Research Institute）

佐藤良三・柴田玲奈・小川泰樹：南西海区水産研究所
〒739-04 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5
（R.Sato, R.Shibata, Y.Ogawa：Nansei National Fisheries Research Institute, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima, 739-04, Japan）
東海正：東京水産大学海洋生産学科〒108東京都港区港南4-5-7
（T.Tokai：Tokyo University of Fisheries, 4-5-7 Konan, Minato, Tokyo 108, Japan）
阪地英男：南西海区水産研究所高知庁舎　〒780 高知市桟橋通6-1-21
（H.Sakaji：Nansei National Fisheries Research Institute, Kochi Station, Sanbasidori, Kochi 780, Japan）

南西水研研報 (Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.), No.29：39-48 (1996)

トラフグ生殖腺の性分化過程と性比

鈴木伸洋・岡田一宏・神谷直明

Gonadal Development, Sexual Differentiation and Sex Ratio of Tiger Puffer, *Takifugu rubripes*

Nobuhiro Suzuki, Kazuhiro Okada and Naoaki Kamiya

The differentiation of gonads into ovaries and testes in juvenile tiger puffer. *Takifugu rubripes* was investigated histologically. Paired primodial gonads were found on the dorsal peritoneal wall beneath the mesonephric ducts of a 2 day old, 3.49 mm in total length (TL). In almost all specimens at 20 days old range 7.21-9.18 mm TL, the gonads had a small number of germ cells buried within numerous somatic cells. These germ cells began to develop at 40 days old range 18.92-20.67 mm TL when the gonads migrated to the anterior part of abdominal cavity. Sex differentiation of gonads occurred at 50 days old range 22.02-29.05 mm TL. At this stage, the gonads of ovarian nature characterized by prominent clusters of interstital tissue was confirmed. In specimens at 80 days old range 58.26-77.33 mm TL, metamorphosis to a demersal juvenile stage occurred and in the ovarian lamella-like structure with clusters of oogonia clear differentiation into the meiotic stage occurred within the ovary. Inside the testis stromal cells began to diffuse to form interstital tissue surrounding future seminal lobule anlage. The beginning of meiosis in the testes did not occur until 102 days after hatching. Gonadal sex ratio was investigeted histologically using fish cultured in the laboratory and specimens caught from coastal waters of the Seto Inland Sea. No histological features of intersexuality were detected and the sex ratio was 1:1. The period of sexual differentiation of gonads corresponded to the change from a pelagic larval to a fully demersal stage in this species.

Key words：tiger puffer, gonadal development, sexual differentiation, sex ratio

硬骨魚類において，機能的雌雄同体現象が普遍的に存在することが知られるようになり，種の生活史との関連において生殖腺の性分化様式，生殖腺の超微細構造の観察に基づく内分泌学的背景などを追究した研究が見られるようになった（Atz 1964, 鈴木 1989)。また，増養殖対象種においては，遺伝子工学的手法を応用した性の統御を目的に性分化期の生殖腺についての詳細な研究が行われている。

トラフグ *Takifugu rubripes* (Temminck et Schlegel) は，漁業・増養殖対象種として重要な魚種の一つで，種苗生産技術および放流技術の更なる進展が期待されている。また，本種は一般に精巣（白子）が珍重されるため雌よりも雄の方が市場価値が更に高いとされ，性の統御の有利性が考えられる。このようなことから，本種の資源添加および人為的性転換を成功に導くためにもその性分化時期や性比を正確に把握することが重要である。

本種の生殖腺の形成過程については，山口県下関市の南風泊魚市場に水揚げされた近海産のトラフグ親魚を用いた人工種苗での報告がある（松浦ほか 1994)。しかし，天然トラフグの幼稚仔魚の生殖腺の組織学的観察の報告はなく，

また，本種の産卵場は九州沿岸から日本海および太平洋沿岸にかけて，主に内湾域に点在するとされ，いくつかの系群の存在が示唆されるようになった(佐藤・小嶋 1995)。

このような状況を踏まえ，本研究では親魚の由来および種苗の大きさと日齢の関係等を考慮して，三重県の伊勢湾口に産卵回遊してきたトラフグの親魚から得られた種苗の性分化期（生殖腺の性分化の開始時期と完了時期）における生殖腺の組織学的特徴とその特徴に基づいて判断した仔稚魚期の性比ならびに瀬戸内海の備後灘の幼稚魚および豊後水道の未成魚の天然トラフグの生殖腺の性比について組織学的に検討し，あわせて性分化時期の外部形態および生態的特徴との関連について考察した。

材料および方法

性分化時期の生殖腺観察のための供試魚は，人工授精によって得た。人工授精のための親魚は，1994年４月に三重県の伊勢湾の安乗沖で採捕した雌２個体（全長，体重：565㎜，3,470g；466㎜，1,700g）と雄３個体（全長，体重：410㎜，1,635g；544㎜，3,970g；443㎜，1,595g)である。人工授精は，同年４月28日に乾導法によった。仔稚魚の飼育は，水温18.0-21.8（平均20.4)℃で，成長に従ってシオミズツボワムシ，アルテミアのノープリウス幼生，市販の配合飼料を単独あるいは併用して餌料として与えた。換水率は1日当たり水槽容量の0.2から5.5で，溶存酸素量は6.55-8.30（平均7.40) ppm，水素イオン濃度は7.50-8.15（平均8.07)であった。孵化率は90.5％で，孵化時の仔魚の平均全長は3.05㎜であり，飼育開始時の収容密度は10,900個体/m³であった。そして，孵化を開始した５月１日から日齢別に40日までは２日ごと，50日以降は５日ごとに約10個体を無作為に抽出して10％ホルマリン溶液で固定後，全長，体長，体重を測定してブアン液で再固定した (Table 1)。また，天然トラフグについては，1994年７～９月にかけて広島県福山市の備後灘の田尻地先の水深２～５ｍに設置した小型定置網（坪網）に入網した幼稚魚(Table 3)と1994年２月21日

Table 1. List of the cultured specimens of *Takifugu rubripes* used for histological study on gonadal sex differentiation

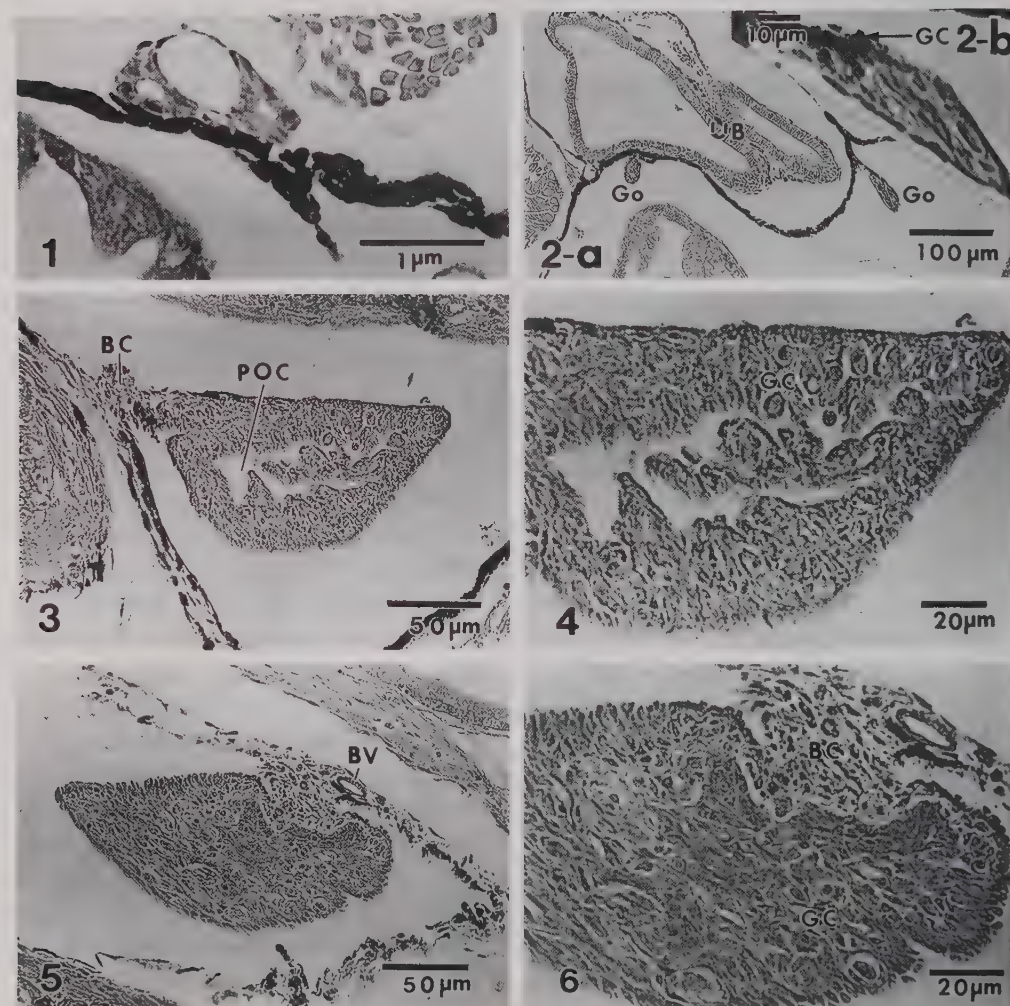
Age (days)	Mean of total length in mm (range)	Mean of body length in mm (range)	Number of specimens
1	3.05 (2.85−3.17)		10
2	3.18 (2.92−3.49)	−	10
4	3.38 (3.24−3.63)		10
6	3.64 (3.08−3.98)	-	10
8	3.84 (3.74−4.07)	−	10
10	3.99 (3.74−4.07)	-	10
12	4.29 (3.74−4.32)	−	10
14	5.33 (4.65−6.09)		10
16	5.79 (5.42−6.32)		10
18	6.64 (6.13−7.03)		10
20	8.45 (7.21 9.18)		10
24	9.05 (8.85 - 9.35)	7.39 (6.91−8.24)	10
26	10.43 (9.88 11.10)	8.17 (7.96−8.54)	10
28	11.43 (10.65 12.64)	9.07 (8.52−10.23)	10
30	13.15 (11.26 14.21)	10.11 (8.13−10.23)	10
32	13.44 (12.55 14.70)	10.90 (10.26−11.58)	10
34	13.96 (13.45 14.74)	10.96 (10.81−11.14)	10
37	15.55 (15.10 16.05)	12.31 (12.08−12.35)	5
38	17.97 (15.45 19.61)	14.00 (12.12−15.14)	5
40	19.56 (18.92 20.67)	15.67 (14.92−16.76)	10
42	20.60 (18.05 25.08)	16.60 (14.27−20.15)	10
44	23.37 (22.85 23.94)	18.50 (17.97−18.89)	10
45	14.10 (13.15 14.12)	10.92 (9.85−11.66)	5
46	23.84 (21.87 25.77)	19.30 (17.04−21.07)	5
50	24.77 (22.02 29.05)	20.46 (18.26−23.61)	10
55	27.82 (22.63 30.66)	23.08 (19.01−25.18)	5
57	38.88 (26.22 40.52)	29.81 (22.81−32.92)	5
60	44.63 (35.19 52.24)	37.94 (29.68−45.41)	5
67	49.60 (44.96 52.39)	43.20 (38.88−45.96)	10
70	38.83 (32.01 46.62)	30.92 (28.94−36.98)	20
73	71.14 (50.29 78.71)	54.16 (43.25−68.42)	6
80	67.17 (58.26 77.36)	57.93 (55.59−69.43)	10
86	68.13 (60.14 76.25)	59.66 (51.43 66.24)	10
100	77.40 (66.04 - 95.74)	68.09 (62.08 83.38)	10
102	87.03 (58.71−102.12)	77.45 (47.89−85.24)	10

に豊後水道の日振島沖の延縄で漁獲された106個体の未成魚（全長248-487mm）を全長，体長，体重を測定後に解剖し，生殖腺を摘出して10%ホルマリン溶液で固定した。生殖腺標本をアルコール系列によって脱水し，約5μm の連続パラフィン切片にしてマイヤーのヘマトキシリン・エオジン重染色を施して生殖腺の組織学的形態を光学顕微鏡で観察した。

結　果

生殖腺の性的分化

生殖腺隆起の原基と考えられる体細胞要素のみで構成された組織索は，中腎輸管と消化管の間の体腔背壁の腸管膜基部に左右に対を成して形成されていた。これが最初に認められたのは2日齢の全長3.49mmの個体（Fig. 1）であったが，すべての個体で細い組織索の生殖腺隆起として確認できた時期は20日齢（全長7.21-9.18mm)であった。40日齢(全長18.92-20.67mm)の生殖腺隆起は，体細胞の増加に伴って体の正中線および垂直の両方向に伸長し，輸尿管の両側に腹腔背壁から小型の包嚢として垂下した状態で認められた（Fig. 2a)。この頃の生殖腺内には少数の生殖細胞が明瞭に確認された。生殖細胞の直径は約25μm，核径は約10μmで，体細胞に比べて大きく，生殖細胞は核がヘマトキシリンに好染し，その細胞質は染色性に乏しいのに対して体細胞は細胞質がエオジンに濃染するので両者は容易に識別できた（Fig. 2b)。50日齢（全長22.02-29.05mm）の生殖腺には中央付近に内腔の形成があるもの（Fig. 3）とこれが存在しないもの（Fig. 5）の2型の組織学的形態変化が認められた。また，両者の間では前者が全体的に赤紫色に染色されるのに対して後者は全体的に青紫色に染色されるためヘマトキシリン・エオジン染色においてもその染色性の違いがみられた。しかし，両型の生殖腺は大部分が体細胞によって占められ，生殖細胞は体細胞要素内に少数が単独で散在するのみで，大きさも前段階と比べて変化はなく，核の減数分裂などの著しい細胞学的変化も認められなかった(Figs. 4,6)。この頃の生殖腺の基部付近には毛細血管網が発達し（Figs. 3,6)，生殖腺と接合している腸管膜には括約筋が付随して太い血管が随所に存在していた(Fig. 5)。70日齢（全長32.60-45.80mm）の生殖腺には前段階に比べると著しい変化が認められた。すなわち，生殖腺内腔のあるものではそれが拡張して卵巣腔に分化し，生殖腺の基部の外側縁に一対の輸卵管原基の内腔の形成がみられた。生殖細胞は，卵原細胞が活発に増殖を開始し，一部には包嚢状の細胞集塊を形成していた(Figs. 7,8)。一方，生殖腺内腔のないものは生殖腺が体細胞の増加とともにその大きさを増し，輸尿管との接続が明瞭に観察された(Fig. 9)。そして，生殖腺の縁辺部付近でのみほぼ円形の明るい核（直径5-7μm）をもつ精原細胞が増殖していることが認められた（Fig. 10)。80日齢（全長58.26-77.36mm)の生殖腺では，卵巣は卵巣腔の側壁が複雑に入り組んで将来は卵巣薄板を形成するひだ状の構造が明瞭になり（Fig. 11)，生殖細胞の多くは卵巣腔側壁の全体にわたって卵原細胞の包嚢を形成し，一部は減数分裂を開始した染色仁期の卵母細胞に発達していた。また，体細胞要素の領域には所々に多数の赤血球を含有する管腔が観察され，その管腔の周辺部では遊走細胞と考えられる細胞群の存在が認められるなど，いわゆる生殖腺内血管網がよく発達していた(Fig.12)。精巣は輸尿管の接合部位に輸精小管と輸精管の分化がみられ（Fig. 13)，基部には大きな血管が存在し，中央部には多数の毛細血管網が散在していた（Fig. 14)。そして，精巣の縁辺部の全体にわたって精原細胞が盛んに分裂して包嚢を形成し（Fig. 15)，増殖後期の精原細胞の周囲には長楕円形の核をもつヘマトキシリンに陽性染色のセルトリ細胞と考えられる体細胞が認められた(Fig. 16)。100日齢(全長66.04-95.74mm)の精巣は80日齢のものと同様の様相を呈し，減数分裂の開始は認められなかった。しかし，卵巣では生殖細胞が卵巣薄板上に配列し（Fig. 17)，染色仁期の卵母細胞の数も前段階に比べて増加していた（Fig.18)。102日齢の全長102.12mmの個体では，卵巣薄板は複雑に入り組んだ構造に発達し（Fig. 19)，染色仁期の卵母細胞に加えて周辺仁期の卵母細胞が出現して



Figs. 1,2,3,4,5,6. Histological appearance of gonads of *Takifugu rubripes* at larval to juvenile stages.

Fig. 1. Cross section of the primordial gonad of a 2 day old fish, 3.94 mm TL.

Fig. 2–a. Cross section of the sexually indifferent gonad at 40 days old. Go:gonad, UB:urinary bladder.

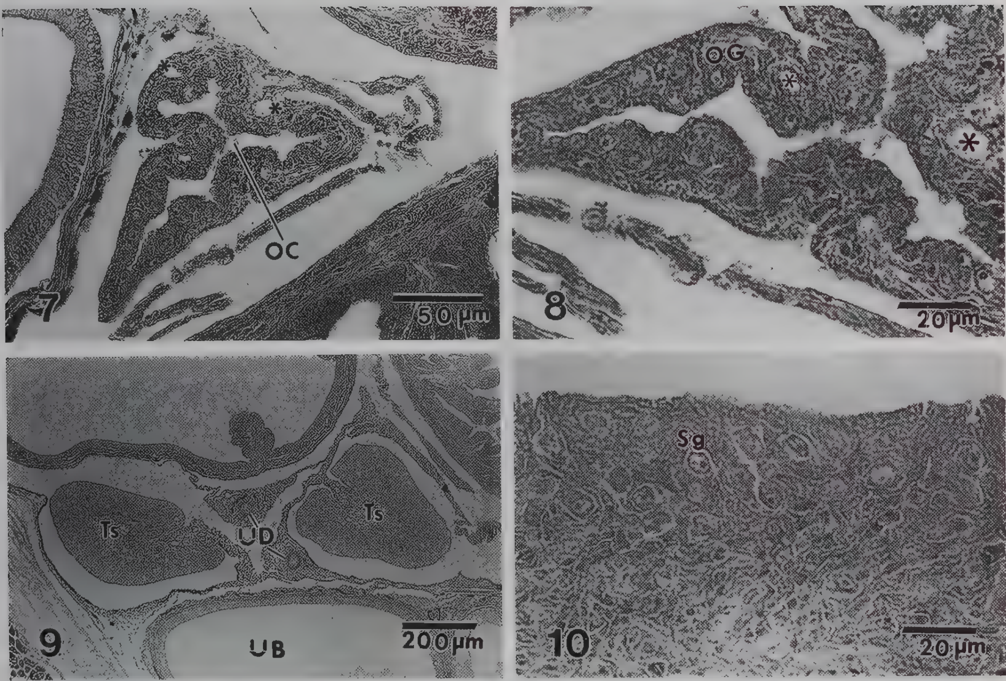
Fig. 2–b. Enlargement of the gonad shown in Fig. 2-a. GC: primordial germ cell.

Fig. 3. Cross section of the gonad having prisumptive ovarian cavity (POC) at 50 days old. BC: blood capillary.

Fig. 4. Enlargement of the gonad shown in Fig. 3. GC: primodial germ cell.

Fig. 5. Cross section of the testis at 50 days old. BV: blood vessel.

Fig. 6. Enlargement of the testis shown in Fig. 5. BC: blood capillary, GC: primodial germ cell.



Figs. 7,8,9,10, Cross section of the gonads at 70-day-old of *Takifugu rubripes.*
Fig. 7. Ovary. OC: ovarian cavity. Astrisks indicate the oviduct.
Fig. 8. Enlargement of the ovary shown in Fig.7. OG: oogonium. Astrisks indicate the oviduct.
Fig. 9. Testis (Ts). UB: urinary bladder, UD: uriniferous duct.
Fig. 10. Enlargement of the testis shown in Fig. 9. Sg: spermatogonium.

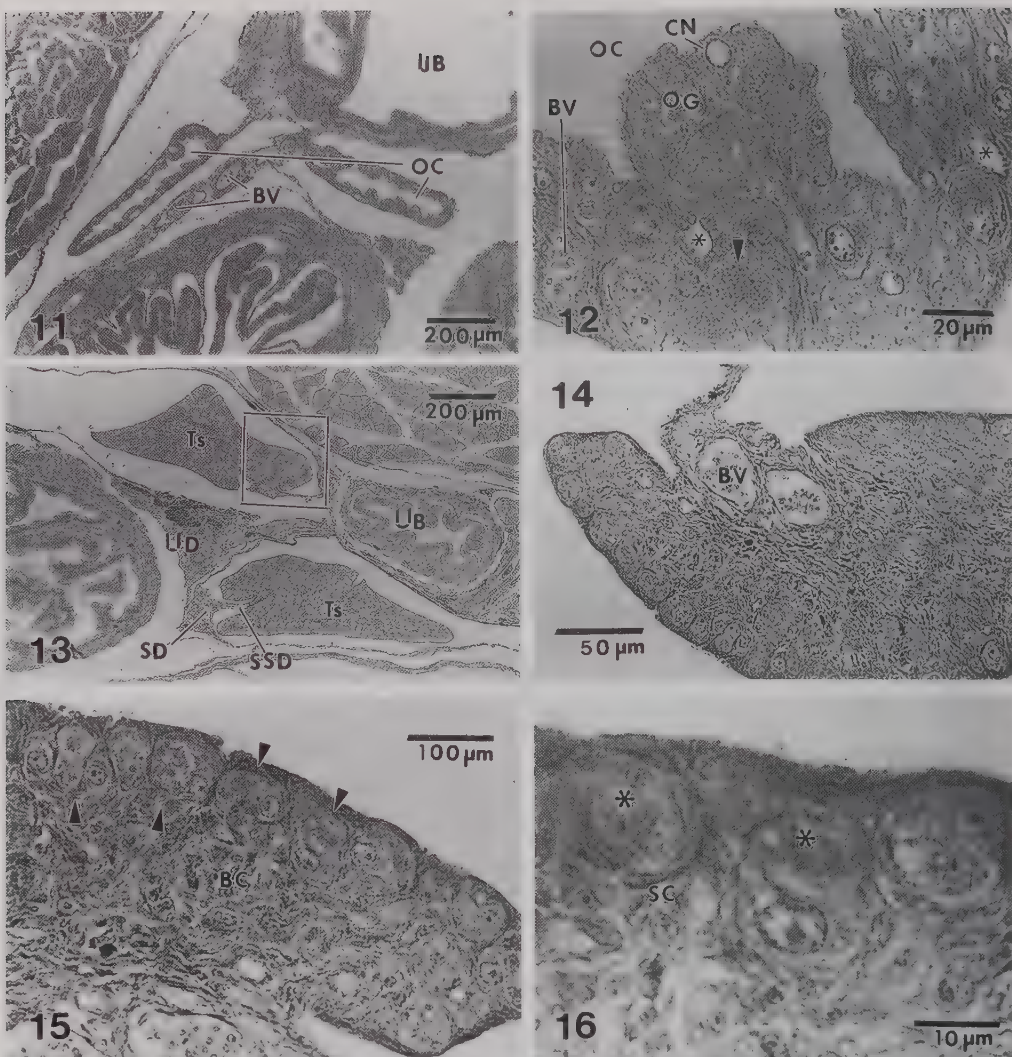
いた（Fig. 20）。

人工種苗の性比

人工種苗の46日齢までの生殖腺の組織学的形態からは雌雄を判別することができなかった。50日齢以降は生殖腺の内腔の形成の有無によって組織学的に生殖腺の雌雄を判別することができると判断されたので，50日齢から102日齢までの106個体のうち明瞭に雌雄が判別できた73個体の日齢別の性比をTable 2に示した。雌雄が判別できなかったすべての個体の生殖腺は，生殖腺内腔の形成の有無が判断できず性的未分化な46日齢以前の個体の生殖腺の様相を呈していた。100～102日齢で雌の出現が多く，その他の日齢では雄の出現数がやや高い傾向を示したが，今回の雌雄が判別できた73個体の全体では，性比はほぼ1:1であった。

天然の幼稚魚および未成魚の性比

備後灘の田尻地先の水深２～５mに設置された小型定置網に７～９月までに入網した幼稚魚の雌雄の出現状況をTable 3に示した。７月の雌雄の出現割合はいずれも雄がやや高く，８月では８日が雌，25日は雄がやや多く漁獲されている。９月５日のサンプルでは，雌が雄の約２倍漁獲されている。しかし，調査した合計488個体での性比は，ほぼ1：1となった。また，豊後水道の日振島沖で２月21日に延縄で漁獲された106個体の未成魚（全長248-487㎜）の調査では，雌41個体，雄75個体（性比は1：1 .83）であり，雄の出現が多かった。



Figs. 11,12,13,14,15,16. Cross section of the gonads at 80-day-old of *Takifugu rubripes.*

Fig. 11. Ovary. BV: blood vessel, OC: ovarian cavities, UB: urinary bladder.

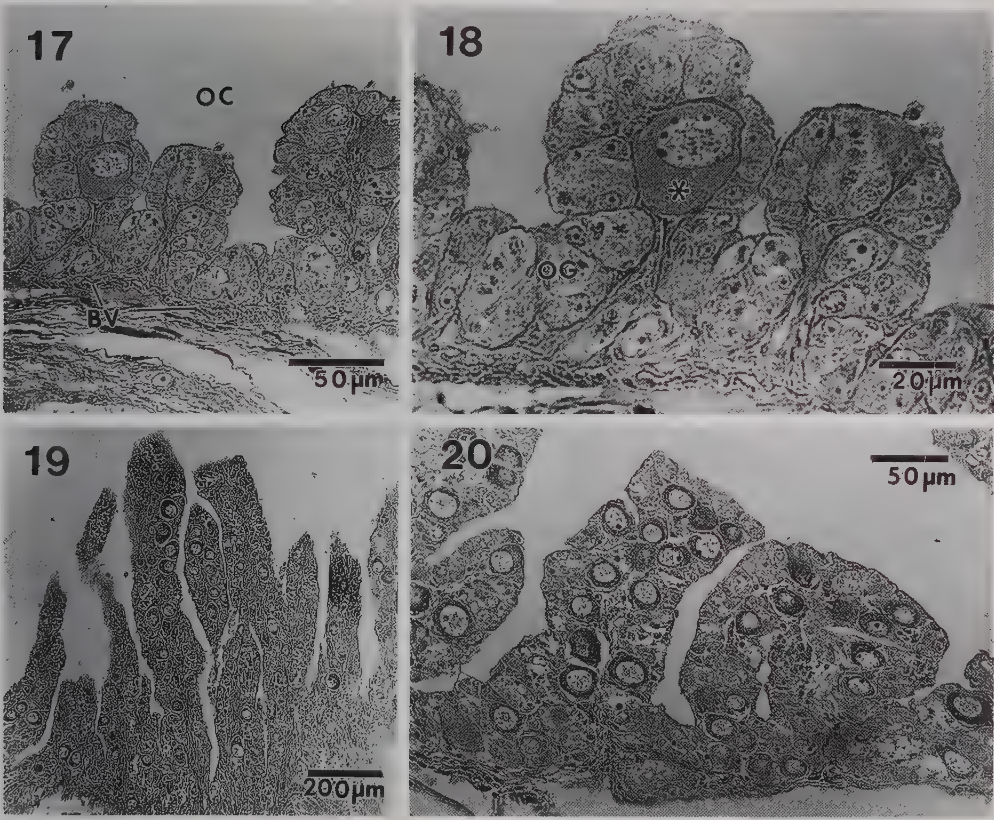
Fig. 12. Enlargement of the ovary shown in Fig. 11. BV: blood vessel, CN: oocyte at chromatin nucleolus stage, OC: ovarian cavity, OG: oogonium. Astrisk and arrow head indicate the ovarian space and agranular hemocytotic cell, respectively.

Fig. 13. Testis (Ts). UB: urinary bladder, UD: uriniferous duct, SD: spermiduct, SSD: small sperm duct.

Fig. 14. Enlarged figure of the square in Fig. 13. BV: blood vessel.

Fig. 15. Enlargement of the marginal part of testis shown in Fig. 13. BC: blood capillary. Arrow heads indicate clusters of spermatogonia.

Fig. 16. Enlarged figure of the clusters of spermatogonia shown in Fig. 15. SC: sertoli cell. Astrisks indicate presumptive Lydig cells.



Figs. 17, 18, 19, 20. Cross section of the ovaries at young stage of *Takifugu rubripes.*
Fig. 17. Ovary at 100 days old. BV: blood vessels, OC: ovarian cavity.
Fig. 18. Enlargement of the ovary shown in Fig. 17. OG: oogonium. Astrisk indicates the oocyte at diplotene stage.
Fig. 19. An Ovary of a 102 day old fish, 102.12 mm TL.
Fig. 20. Enlargement of the ovary shown in Fig. 19. Note many oocyte at peri-nucleolus stage arranged on an ovarian lamella.

考　察

トラフグの生殖腺隆起は，多くの硬骨魚類同様，中腎輸管と腸管の間の体腔背壁の腸管膜基部に左右に対を成して形成されていた。松浦ほか（1994）は，山口県下関市の南風泊市場に水揚げされた近海産トラフグを親魚として人工授精によって得た種苗において孵化7日目の仔魚で腸管膜を挟むようにして生殖腺原基が中腎輸管の下に形成されることを報告している。本研究では，生殖腺原基と考えられる体細胞要素のみで構成された組織塊は2日齢の全長3.49㎜の個体で認められたものの，観察したすべての個体で生殖腺が索状の生殖隆起として認められた時期は20日齢であった。このように，本種では発育初期の個体で生殖腺を組織学的に確認することが難しかった。これは，性的に未分化な生殖腺のほとんどが体細胞要素で占められているた

＊1　馬石博子・多田部　修・宮本健夫（1993）：トラフグ属4種の性分化に関する研究．平成5年度日本水産学会秋季大会講演要旨集，p.149.

Table 2. Sex ratio in cultured specimens of *Takifugu rubripes*

Age (days)	Mean of total length (mm) (range)	Mean of body weight (g) (range)	Number of female/male (sex ratio)
50	24.8	0.76	5/5
	(22.02−29.05)	(0.33−1.30)	(1:1)
55−60	36.3	1.84	7/9
	(22.63−52.24)	(0.50−4.20)	(1:1.29)
67−73	56.7	6.26	7/8
	(44.96−78.71)	(3.00−15.41)	(1:1.14)
80−86	64.4	9.36	7/11
	(42.84−77.36)	(5.40−13.51)	(1:1.57)
100−102	74.4	16.82	9/5
	(58.71−95.74)	(10.51−30.75)	(1:0.56)
Total	51.78	7.01	35/38
	(22.08−95.74)	(0.33−30.75)	(1:1.09)

Table 3. Sex ratio in young *Takifugu rubripes* caught with set-net in the coastal waters of the Seto Inland Sea, July-September 1994

Sampling date	Mean of body length (mm)* (range)	Number of female/male (sex ratio)
Jul. 9	39.40	4/7
	(29.86−47.98)	(1:1.75)
Jul. 19	43.20	64/75
	(39.27−58.85)	(1:1.17)
Jul. 28	55.88	53/60
	(41.96−70.58)	(1:1.13)
Aug. 8	64.58	29/26
	(49.43−73.84)	(1:0.90)
Aug. 25	68.61	23/28
	(57.19−80.39)	(1:1.22)
Sep. 5	87.25	77/42
	(74.12−100.71)	(1:0.55)
Total	59.82	250/238
	(29.86−100.71)	(1:0.95)

* The correlation between body length (BL; mm) and body weight (BW;g) was shown by an equation: $BW=0.00076BL^{2.831}$ ($r=0.99$, $N=531$, $p<0.01$).

めに始原生殖細胞の存在を光学顕微鏡下では正確に確認することが困難であることに加えて，馬石ほか*1が指摘したように本種の仔魚は卵黄量が比較的多く，7日齢までは卵黄が残存している（鈴木ほか 1995）ことも確認を困難にしている原因の一つであろう。

硬骨魚類の生殖腺の性分化の組織学的判定には，生殖細胞の数とその減数分裂開始時期から性の分化を決定する場合(高橋 1978，隆島・会田 1984)と生殖腺の付属構造に関連する生殖腺の体細胞要素の挙動を性分化の方向の判定とその開始時期の決定の重要な手がかりとする場合（清水・高橋 1980，Tanoue 1966，Takahashi and Shimizu 1983）とが報告されている。加えて，硬骨魚類には幼時雌雄同体性の性分化過程を示すものや正常な機能的雌雄同体現象が普遍的に存在することが知られいる（Atz 1964，鈴木 1989)。このようなことから，性分化期の生殖腺では生殖細胞の増殖・成熟分裂といった変化のみならず生殖腺付属構造の形成に関連した体細胞要素の挙動にも注目して，組織学的所見から生殖腺の性の分化を決定することが重要である(鈴木ほか 1992)。

本研究の人工トラフグにおいては，50日齢で始めて生殖腺の中央部付近に内腔の形成が認められるものとこれが認められないものの2型の組織形態学的変化が生じた。松浦ほか（1994）は，同様の変化が生じる時期を孵化後45日目頃であると報告している。この時期の個体の体長については具体的な記載がないが，個体の成長を示したグラフ(p.623のFig. 17)からその体長は18㎜前後と推測された。これは，本研究の50日齢の体長18.26-23.61㎜とほぼ一致した値であった。80日齢の個体では，内腔をもつ生殖腺にはすでに一対の輸卵管の原基が認められ，卵巣薄板を形成する体細胞組織のひだ状構造が明瞭で，一部の生殖細胞には染色仁期の卵母細胞への発達がみられた。また，内腔をもたない生殖腺ではすでに輸精管が分化しており，生殖腺の縁辺部の全体にわたって精原細胞の包嚢が形成されていることが認められた。このようなことから，生殖腺の中央部の内腔の形成といった体細胞要素の挙動が生殖細胞の減数分裂に先駆

けて起こることが明らかとなり，これによって本種の生殖腺の性分化の方向の決定とその開始期の重要な手がかりが得られ，80日齢までには性の分化が完了するものと考えられた。

トラフグでは，多くの魚種と同じく，精巣は卵巣に比べて組織学的にその分化を判定できる時期が遅いとされている(松浦ほか 1994)。本研究でも生殖細胞の減数分裂は卵巣で80日齢と早く，精巣では102日齢でも減数分裂は観察されなかった。しかし，精巣においても性分化完了期(80日齢)には卵巣と同様に生殖腺付属器官は分化していることが確認されたことから，精巣の分化が卵巣に比べて著しく遅延することはないものと考えられた。

生殖腺が腹腔内で最初に形成される位置とその伸長する方向については，一般に腹腔の前方で開始して後方に向かって伸長する場合が多く，異体類のように生殖腺が肛門より後方に発達しているという特殊な性質の場合には，後部で開始して前方に向かって発達する(田中 1987，鈴木ほか 1992)。トラフグの場合は，生殖腺の伸長部分の先端の融合は中部よりも前部や後部で先に起こっていることが観察されている（松浦ほか 1994)。本研究では，括約筋によって腹腔膜と強固に接合した鰾が腹腔内で大きく後方に張り出しているために生殖腺は輸尿管との接合部分の位置に形成され，腹腔の後方から前方に向かって発達するものと推定された。

成長に従って外部形態ならびに生態的に大きな変化を伴う魚種では，性分化時期を推定するための目安としてこれらの変化と生殖腺の組織学的観察との関連を複合的に検討する試みが異体類でなされている(鈴木ほか 1992)。しかし，人工種苗トラフグの性分化過程を藤田(1962)の成長発育区分と対比した松浦ほか(1994)の研究では，供試したトラフグの仔稚魚の成長が藤田によって報告されたものと比べてやや早い傾向にあり，仔魚から稚魚に移行する時期（孵化後25日前後，体長6.5-8.0㎜)も多少早く，性分化が稚魚期に移行した後に起こったために，仔魚から稚魚への形態変化と生殖腺の性分化との間には直接的関係が認められないとしている。本研究では，全身に黒小斑点が出現する全長 9.6㎜頃には生殖隆起としての索状の未分化生殖腺が組織学的に認められ，吻端部，背鰭前方背面および尾柄後端そして胸鰭後方の背側に本種特有の一対の黒斑紋の形成が起こる全長27㎜頃は生殖腺の性分化開始時期に相当した。そして，胸鰭後方背側の一対の円形の大黒斑紋がいずれの個体においても認められた80日齢には性分化は完了していた。加えて，本研究の人工種苗ではほぼ70日齢で側線管器の形成が完了して底生生活期に移行する（鈴木ほか 1995)ことが明らかになっており，本種の仔稚魚期の形態および生態にみられる上述のような変化と生殖腺の性分化時期とが密接に関連していることが示唆された。

一般に資源管理を実施するにあたり，対象とする魚種の天然および放流種苗の性比を把握しておくことは資源添加を行う上で大切である。人工種苗のトラフグでは，孵化後45日目から105日目の生殖腺の組織学的観察によって卵巣腔の形成を基準に雌雄がはっきりしてからの性比がほぼ1:1で，雌雄の中間的な特徴をもつ生殖腺がみられないことから，本種には雌雄同体現象はないことが示唆されている(松浦 1994)。本研究でも人工種苗および天然のトラフグに両性生殖腺はまったく観察されなかった。また，トラフグの性比についても人工のみならず天然の幼稚魚でも，その性比がほぼ１：１という結果が得られた。未成魚期のトラフグでは雄の出現数が雌のそれの約２倍となった。産卵期の親魚を対象に行われる一本釣り漁業では，雄の漁獲が著しく多く，吾智網では雌の漁獲もかなりあることが経験的に知られている。このようなことから，未成魚期に雌の著しい自然死亡がないとすれば今回の延縄における雄の高い漁獲率は漁具の特性ないしはこの時期のトラフグの行動特性によるものと推察するのが妥当であろう。しかし，このことについては調査事例を増やして検討する必要がある。

謝　辞

研究の遂行にあたり，材料魚の採集に便宜を図って頂いた南西海区水産研究所資源管理部内

海底魚資源研究室の佐藤良三室長に感謝の意を表する。

本研究の一部は，農林水産省特別研究「中回遊型魚類の回帰特性の解明と資源管理技術の開発」によって実施した。

文　　献

Atz, J. W., 1964: Intersexuality in fishes. Pages 145-232 in C.N.Armstrong and A.J.Marshall, eds. Intersexuality in vertebrates including man. Academic Press, London, New York.

藤田矢郎，1962: 日本産主要フグ類の生活史と養殖に関する研究.長崎水試論文集，(2)，1-121.

松浦修平・内藤　剛・新町充人・吉村研治・松山倫也，1994: トラフグ生殖腺の性分化過程．水産増殖，**42**(4)，619-625.

佐藤良三・小嶋喜久雄，1995: トラフグの分布・回遊特性．漁業資源研究会議報,(29)，101-113.

清水　稔・高橋裕哉，1980： イトヨ *Gasterosteus aculeatus* L.の生殖腺および生殖輸管の性分化過程．北大水産彙報，**31**(2),137-148.

鈴木克美，1989: 硬骨魚類の雌雄同体現象．栽培技研，**18**(1)，45-55.

鈴木伸洋・田村正之・大内一郎・広松和親・杉原拓郎，1992： マコガレイ生殖腺の性分化過程．水産増殖，**40**(2)，189-199.

鈴木伸洋・岡田一宏・神谷直明，1995：人工飼育トラフグ仔稚魚期の器官形成と行動の変化. 水産増殖，**43**(4),461-474.

高橋裕哉，1978: ホルモンと生殖 I．（日本比較内分泌学会編）,学会出版センター，東京,23-58.

Takahashi, H. and M. Shimizu, 1983： Juvenile intersexuality in a cyprinid fish, the Sumatra barb, *Barbus tetrazona*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ*. **34**(2)，69-78.

隆島史夫・会田勝美，1984： 性分化とホルモン.（日本比較内分泌学会編）,学会出版センター，東京，77-99.

田中秀樹，1987: ヒラメの生殖腺の性分化過程．養殖研報，(11)，7-19.

Tanoue, T., 1966：Studies on the seasonal migration and reproduction of the spotted mackerel, *Pneumatophorus tapeinocephalus* (Bleeker) *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, (15)，91-175.

1995年12月12日受理(Accepted December 12, 1995)
南西海区水産研究所業績A第44号(Contribution No. A44 from the Nansei National Fisheries Research Institute)
本報告書の一部は平成6年度日本水産学会春季大会において発表した。
鈴木伸洋：南西海区水産研究所 〒739-04 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5
(N. Suzuki: Nansei National Fisheries Research Institute, 2-17-5 Maruish, Ohno, Saeki, Hirosima 739-04, Japan)
岡田一宏，神谷直明：三重県水産技術センター　〒517-04 三重県志摩郡浜島町浜島 3564-3
(K. Okada and N. Kamiya: Fisheries Research Institute of Mie, 3564-3 Hamajima, Shima, Mie 517-04, Japan)

南西水研研報 (Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.), No.29 : 49-58 (1996)

瀬戸内海西部における基面の高さ別のホンダワラ植生の観察

寺脇利信・吉田吾郎・吉川浩二・有馬郷司

Observations on *Sargassum* Vegetation in Relation to Substratum Height above the Sea Bottom in the Western Seto Inland Sea

Toshinobu Terawaki, Goro Yoshida, Kohji Yoshikawa and Satoshi Arima

The large brown algal taxon, *Sargassum* occurs on the rocky shore in shallow depths and forms submarine forests along the coastal areas of Kyushu and Honshu. Submarine forests are one of the most important elements in shallow marine ecosystems and fisheries. But submarine forests have drastically decreased due to reclamation and/or water pollution. Thus how to conserve and to regenerate the *Sargassum* bed system is of great concern in Japan.

In this study, *Sargassum* vegetation was investigated on the rocky shore of Tohwa-cho, Yamaguchi Prefecture, western Seto Inland Sea in relation to the substratum height at different depths to clarify the effects of physical factors such as wave and sand action on the vegetation. Quadrat investigations by SCUBA diving were carried out at 2, 4 and 6m depths on rock bottom areas, 4 times in 1994-1995. Vegetation was also surveyed on concrete blocks set on the sand bottom at 4m depth.

Myagropsis myagroides, Sargassum macrocarpum and *S. micracanthum*(perennial species) were dominant on rocky substrata that stood more than 0.2m above the rock bottom covered with thin sand. *S. horneri* and *S. fulvellum*(annual species) were dominant on rocky substrata that stood less than 0.2m above the rock bottom covered with thin sand at 2 and 4m depths. Both perennial and annual species were observed on concrete blocks up to 0.3m level above the sand bottom. This indicates that the lower part of rocky substrata are perturbed by wave and sand action preventing a stable vegetation climax in shallow depths.

It is suggested that *Sargassum* vegetation for artificial submarine forest formation on sand bottoms can be controlled by setting artificial substrata taking into account factors of depth and the height of substrata above the bottom.

Key words: *Sargassum* vegetation, substratum height, wave and sand action, submarine forest formation

藻場は浅海域の大型海藻類を中心にして形成され，藻場生態系として沿岸生態系を構成する要素（菊池 1973）であり，水産上の有用種を含む海洋生物の再生産にとって重要な環境を提供している（徳田他 1983）。しかし，これら藻場については，沿岸埋め立てにより消失が続いている（磯部 1994）のみならず，水質の汚濁などの影響による衰退が報じられた（南西水研 1974）ことから，その保全と造成の必要性が強く認識された（南西水研 1979）。

今日では，藻場を拡大・維持するための技術は，水産業を含めた多様な海域利用の可能性を探る（土木学会 1991）に当たり，資源開発の際の事業の目的に合わせた海藻植生に調整する等

の環境技術としての重要性も増してきている（寺脇他 1995）。特に最近では，港湾に係わる防波堤や消波ブロックなどの海岸構造物における海藻類の着生状況の把握と波浪条件との関係が解析され（Ozasa *et al.* 1995），それらの知見を生かし生態系に配慮した漁港施設の整備計画などでも藻場の形成可能面積についての検討が取り上げられるようになった（高木他 1995）。

九州東シナ海から本州日本海及び瀬戸内海の沿岸の岩礁域には，主に大型褐藻ホンダワラ類によって形成されるホンダワラ藻場（ガラモ場とも称される）が分布している。世界的には亜熱帯から温帯の沿岸海域を中心に藻場を形成するホンダワラ類については，近年，東南アジア地域においても，水産資源の増殖のための事業の際に，ホンダワラ類の藻場の造成を含めた海底環境の整備が重視され始めている（SEAFDEC 1990）。

これらホンダワラ類に関して，近年，タマハハキモク*Sargassum muticum*（Yendo）Fensholt及びアカモク*S. horneri*（Turner）C. Agardhの生活史を室内培養で完結させる技術（Uchida *et al.* 1991 及び Uchida 1993）を活用した，初期生長に及ぼす日長などの環境要因の影響が明らかにされた（吉田他 1995）。

一方，砂底に接する岩礁域の下部においては，砂の影響の及ばない岩面に比べてガラモ場及びアラメ・カジメ場における海藻群落の組成や構造が異なることが指摘されている（今野 1984）。ここで，吉川（1985，1986及び1987）が継続中のホンダワラ藻場造成の海域実験は，砂底に新しい着生基質としてコンクリートブロック等を設置して進められているものの，結果の比較検討の際の対照として重要な，近接する自然の岩礁域における藻場構成種の生育状況に関し，中村・宮後（1982）が把握したような船上目視観察及び枠取り採集による概況以外には，微地形に対応させた詳細は今後の追求課題として残されている。

本研究は，人為的な管理をなるべく必要としない藻場の造成方法（Hasegawa *et al.* 1995; 寺脇他 1995）を活用した，海藻植生の調整技術の開発に資することを目的として，自然の岩礁域において，砂の影響が及んでいると考えられる岩礁域の下部での基面の高さ別の，特にホンダワラ類を中心とした植生（以後ホンダワラ植生と記する）の観察によって，主に一年生と多年生のホンダワラ類の分布の特徴を明らかにしようとする。

材料と方法

瀬戸内海西部に位置する屋代島（山口県大島郡）東和町松が鼻地先の岩礁域において，1994年９月１日，11月30日，1995年２月27日及び５月８日の４回，スキューバ潜水により，北方向に沖出しした調査測線に沿い，水深2，4および6mの海底を調査した（Fig.1）。岩礁域の中でも，特に砂の作用の影響が及んでいると考えられる基面での局所的なホンダワラ植生を把握するため，各水深の傾斜の緩やかな測点において，岩面または砂面からの比高別に1000cm^2（25cm×40cm）の方形枠を用い，底質の特徴及び枠内に生育していた直立海藻の種類を記録した。さらに，水深4mでは，岩礁域に近接する砂底に1983年に設置されて後，人為的な管理を施してないことが確認されている建材ブロックについても同様に調査した。

調査地の岩礁域の微細地形の表記については西村（1972）及び南西水研（1979）に，海藻の種名に関しては吉田他（1995）に従った。

結　果

底質の特徴

この地点の基本的な地質は花崗岩（木橋・西村 1984）で，松が鼻の岩礁域の突端部が水中に没した潜岬（Spur）が水深6mまで伸びて砂底に接していた。

水深2mでは，砂泥が最大の厚さ2cmに被覆した岩面上に長径20cmほどまでの大礫（Cobble）が集積していた。水深4mでは，砂泥が最大の厚さ5cmに被覆した岩面上に長径50cmほどまでの巨礫（boulder）が集積していた。水深6mでは，砂泥が10cm以上の砂底から，岩盤（Rock）の露頭がみられ，礫は集積していなかった（Fig. 2）。

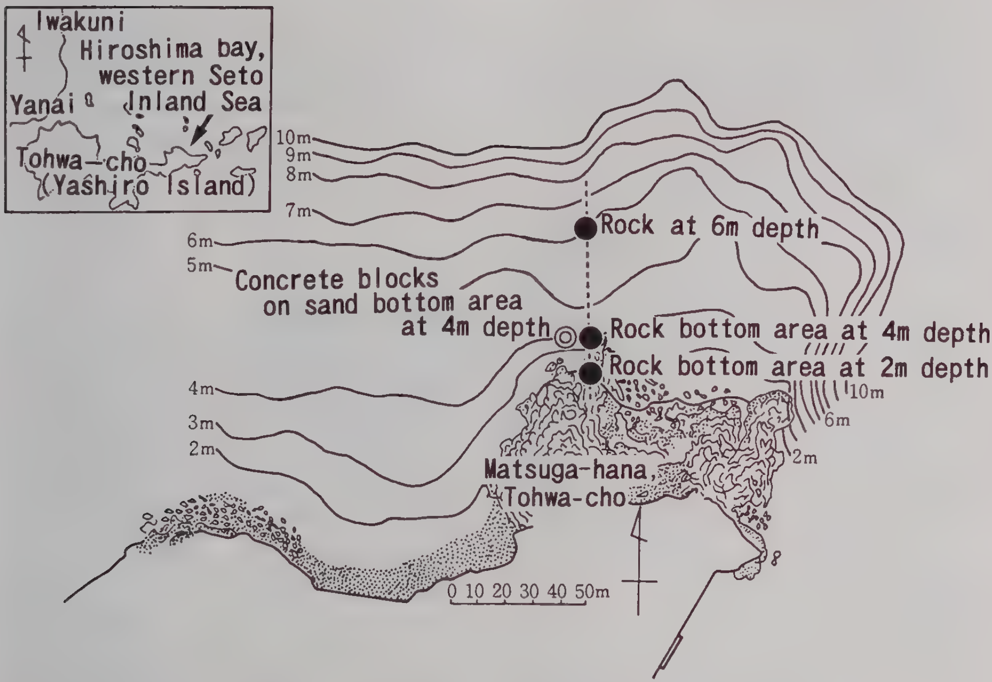


Fig.1. Map of the investigation site indicating the bottom topography at Matsuga-hana, Tohwa-cho, western Seto Inland Sea.

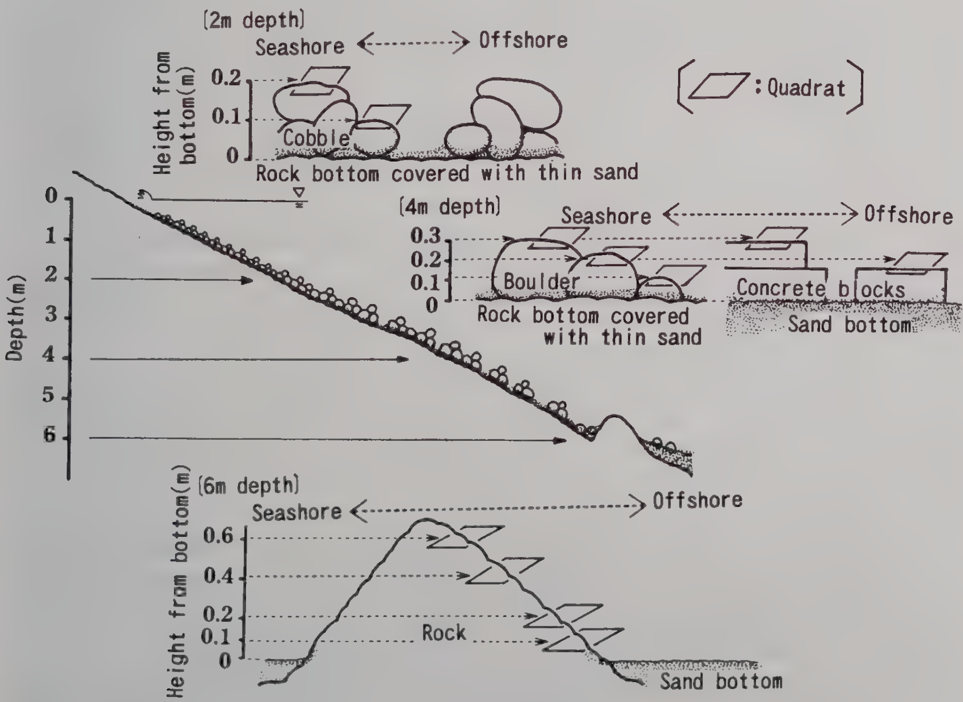


Fig.2. Schematic characters of sea bottom at the survey spots.

出現した種類

方形枠内に出現した直立海藻類は，緑藻2種，褐藻15種，紅藻4種の合計21種で，各水深とも大きな差異はみられなかった（Table 1)。

この地点はホンダワラ藻場が形成されている岩礁域であることから，ジョロモク*Myagropsis myagroides* (Mertens ex Turner) Fensholt, トゲモク*S. micracanthum* (Kützing) Endlicher 及びノコギリモク*S. macrocarpum* C. Agardh 等のホンダワラ類8種類，その他の大型種としてワカメ *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar 及びクロメ*Ecklonia kurome* Okamuraが出現し，大型褐藻類だけで10種と，出現した種類数の半数を占めた。

なお，この地点に隣接する周辺の砂底においては，大型海草アマモ*Zostera marina* Linnaeus は出現しなかった。

基面の高さ別のホンダワラ植生

調査した各水深において，砂の作用が及んでいると考えられる，砂が薄く被覆した岩面または砂面からの比高の低い基面での，周年の大半にわたる期間での基本的な海藻植生を把握する目的で，調査測点ごとに，4回の調査機会に対して3回以上出現した種をTable 2に列記した。一年生と多年生のホンダワラ類，ワカメ及びクロメのみである。

比高0.2m以上の基面では，調査した全ての水深区において，多年生ホンダワラ類のジョロモクがみられた。また，比高0.2m以上の基面では，ジョロモク以外にも，水深2及び4mでトゲモクが，水深6mでノコギリモクがみられた。

これに対して，水深2mおよび4mの比高0.1mという，小型直立海藻の緑藻ミル*Codium fragile* (Suringar) Hariot や紅藻マクサ *Gelidium elegans* Kützingなども多く出現する，水深が浅く比高の低い基面においては，一年生ホンダワラ類のアカモクおよびホンダワラ *S. fulvellum* (Turner) C. Agardhが主にみられた。なお，この特徴は，水深2mでは比高0.2mまでの基面でみられたが，水深4mでは比高0.1mのみとなり，水深6mではみられなかった。

一方，水深4mの砂底に設置された建材ブロックでは，比高0.2mでも，更に0.3mでも，多年生のノコギリモクやトゲモクとともに，一年生ホンダワラ類のアカモク及びホンダワラがみられ，同水深の4mにおける潜岬の基面上と比較して，ホンダワラ植生が一年生主体へと変化する傾向がみられた（Fig.3)。

考　　察

立地環境条件の概要

この地点の潜岬の基面上では，調査した中で最も波浪の影響を受けやすい水深2mにおいても，物理的攪乱の少ない環境に生育するジョロモク（今野 1984）及びクロメ（新井 1988)，更に，水深4mでも物理的攪乱の少ない環境に生育するノコギリモク（今野 1984）がみられる。一方，隣接する砂底には，大型海草アマモの生育は認められていない。

以上のことと，この地点が広島湾の湾口部における主に北に面した海岸線の一部で，北方向からの波浪を遮る島嶼がみられないこととを考え併せると，主に冬季の北方中心の季節風で生じる波によって，アマモが生育不可能な程度に砂泥の移動や砂面高の変動が生じる（丸山他 1988）ため，アマモの分布が認められないが，ホンダワラ類などの大型褐藻にとっては適度に静穏であると解釈され，この地点の岩礁域はホンダワラ藻場として比較的安定した好適な立地環境と言えよう。

海藻植生の調整技術への応用展開方向

この地点でも，福岡県津屋崎（Yoshida *et al.* 1963)，千葉県小湊（今野 1984）および京都府丹後半島（今野・中嶋 1980）などと同様に，水深によりホンダワラ植生が変化した。さらに，この地点では，水深と基面の比高の微妙な組み合わせの違いにより，局所的な一年生主体へのホンダワラ植生の変化も確認された。

この原因としては，到達光量が海藻分布の主要な制限要因とならない当調査地での水深範囲においては，浅所で比高が低い基面ほど，おもに，波浪及び潮汐流などによって生じる砂泥の作用による生育への影響が大きく，ホンダワラ類にとっての生育環境条件が不安定化する（今野 1984）ことが考えられる。すなわち，波浪，

Table 1. Algal species that appeared in the quadrats at each depth.

〔2m depth〕	〈On cobble on rock bottom〉			
	1994		1995	
Species	1 Sep.	30 Nov.	27 Feb.	8 May
Ulva pertusa			○	
Codium fragile	○			
Colpomenia sinuosa				○
Padina arborescens				○
Undaria pinnatifida			○	○
Ecklonia kurome		○	○	
Myagropsis myagroides	○	○	○	○
Sargssum fulvellum	○		○	○
S. horneri	○	○	○	○
S. micracanthum		○	○	○
Gelidium elegans		○		○
Amphiroa zonata	○			
Plocamium leptophyllum		○		

〔4m depth〕	〈On boulder on rock bottom〉				〈On concretre block on sand bottom〉			
	1994		1995		1994		1995	
Species	1 Sep.	30 Nov.	27 Feb.	8 May	1 Sep.	30 Nov.	27 Feb.	8 May
Codium fragile	○					○		
Colpomenia sinuosa			○					
Cutleria multifida								○
Dictyopteris prolifera			○					
Dictyota dichotoma				○		○		
Padina arborescens		○		○	○			
Undaria pinnatifida			○	○			○	○
Ecklonia kurome		○	○	○		○	○	○
Myagropsis myagroides	○	○	○	○			○	○
Sargassum fulvellum	○		○	○	○	○	○	○
S. horneri	○		○	○	○	○	○	○
S. macrocarpum					○	○	○	○
S. micracanthum	○	○	○	○		○	○	○
S. piluliferum							○	○
S. siliquastrum	○		○	○				
S. yendoi								○
Gelidium elegans							○	
Plocamium leptophylium		○		○			○	

〔6m depth〕	〈On rock〉			
	1994		1995	
Species	1 Sep.	30 Nov.	27 Fev.	8 May
Codium fragile			○	
Cutleria multifida				○
Dictyopteris prolifera			○	○
Dictyota dichotoma				○
Ecklonia kurome	○	○	○	○
Myagropsis myagroides	○	○	○	○
Sargssum fulvellum			○	○
S. horneri			○	○
S. macrocarpum	○	○	○	○
S. micracanthum			○	
S. siliquastrum			○	○
Amphiroa zonata				○
Callophyllis japonica				○

Table 2. Vertical distribution of algal species in relation to substratum height above the sea bottom at various depths. (Species observed at least on 3 of 4 surveys)

Depth (m)	Substratum character	Substratum diameter	Substratum height	Species (Perennial or Annual)	Substratum character	Substratum diameter	Substratum height	Species (Perennial or Annual)
2	Cobble	0.1～0.2m	0.2m	*M. myagroides* (P)				
				S. micracanthum (P)				
				S. horneri (A)				
			0.1m	*S. fulvellum* (A)				
				S. horneri (A)				
4	Boulder	0.4～0.5m	0.3m	*M. myagroides* (P)	concrete block	0.4m	0.3m	*S. macrocarpum* (P)
								S. micracanthum (P)
								S. fulvellum (A)
								S. horneri (A)
			0.2m	*M. myagroides* (P)			0.2m	*E. kurome* (P)
				S. micracanthum (P)				*S. fulvellum* (A)
				S. siliquastrum (P)				*S. horneri* (A)
			0.1m	*E. kurome* (P)				
				S. fulvellum (A)				
				S. horneri (A)				
6	Rock	1m<	0.6m	*M. myagroides* (P)				
				S. macrocarpum (P)				
			0.4m	*M. myagroides* (P)				
				S. macrocarpum (P)				
			0.2m	*M. myagroides* (P)				
				S. macrocarpum (P)				
				E. kurome (P)				
			0.1m	*E. kurome* (P)				

潮汐流などによって舞上げられた砂泥が藻体に衝突したり，また，藻体を被覆したりするなど，物理的な環境の攪乱が生じやすいため，静穏な環境で優占する多年生ホンダワラ類の生育にとって不利となり，一年生のアカモクおよびホンダワラが入植する機会が増え（新井 1988），海藻遷移の初期相が繰り返されやすくなる。また，水深が6mと深くなると，これとは逆に物理的な環境の攪乱が比較的生じにくくなるので，ノコギリモクなどの多年生ホンダワラ類が優占しやすくなる。

これに対して，砂底に設置された建材ブロックでは，比高0.1mの調査にとって好適な基面が得られなかったが，比高0.3mまで一年生のアカモクおよびホンダワラが周年の大半にわたってみられたことが潜岬の基面上と大きく異なる特徴であった。この原因としては，砂底に設置された建材ブロックでは，潜岬における比高の低い基面よりも周辺にある豊富な砂泥の作用により，多年生ホンダワラ類の生育が制限されるレベルの物理的な環境の攪乱（新井 1988）が生じている可能性が挙げられる。

なお，この海域の一角の水深5mの砂底に，実験のために3及び5月に設置された高さ0.5mの藻礁（コンクリートブロック）で，周辺の天然群落から供給された受精卵に由来すると考えられるホンダワラ植生は，藻体重量の変化の面から，優占種が初年度の一年生のアカモクから，

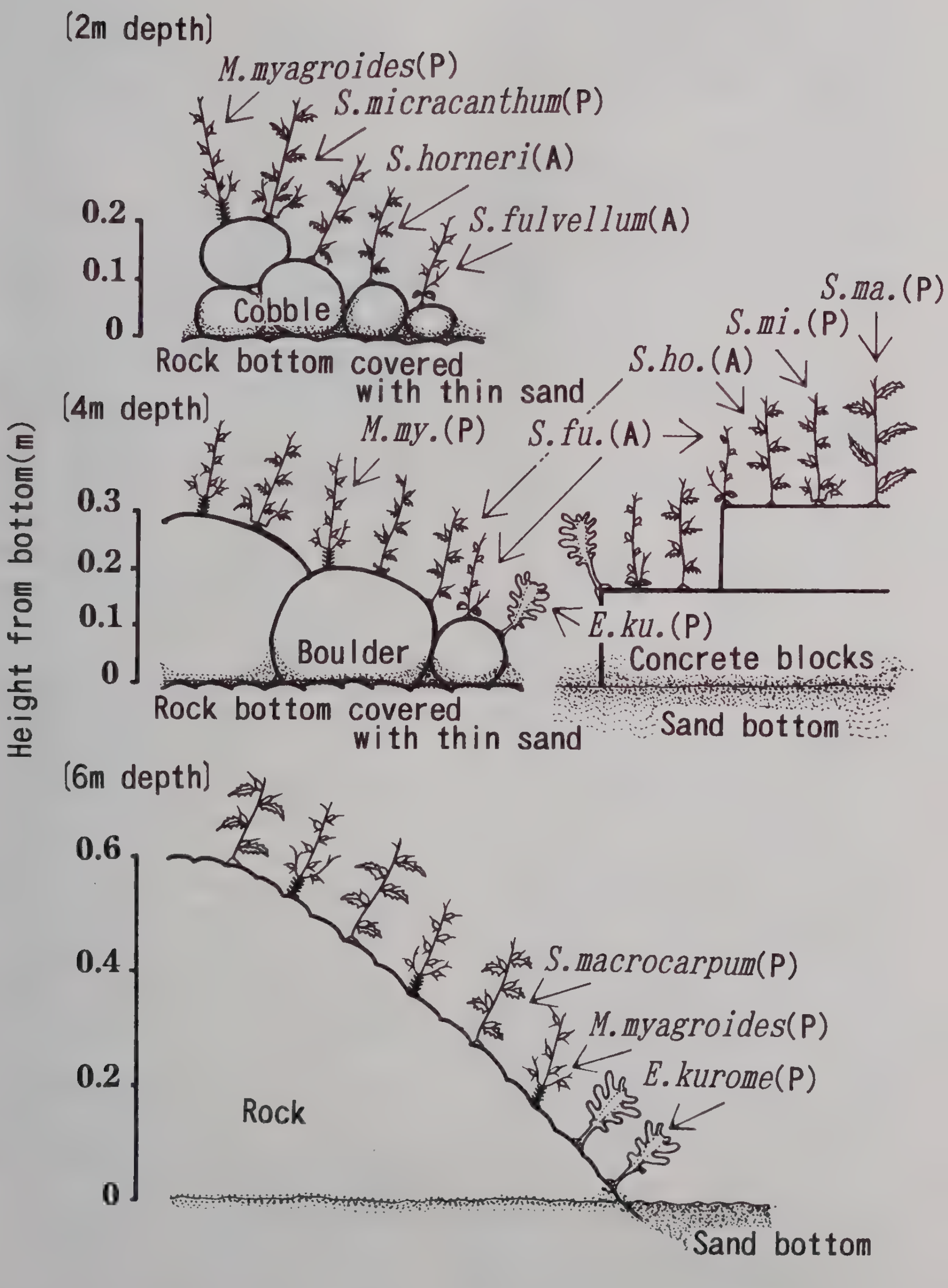


Fig.3. Schematic views of the *Sargassum* vegetation in relation to substratum height above the sea bottom.

2年後にはトゲモク等の多年生種へ変化し，アカモクがみられなくなった（月舘 1989)。このことから，この海域の水深4mから5mの砂底では，砂面からの比高0.3mから0.5mの間で，物理的な環境の攪乱が質量ともに急激に変化する可能性が示唆される。

以上のことから，砂底における藻場造成の事業の際，生育基盤の設置水深および基面の比高を多様化させることを中心とした，人為的な管理をなるべく必要としない，海藻植生の調整技術の可能性を探るうえで，様々な物理的環境条件下にあると考えられる既設置の藻礁（月舘 1989）についての，その後の海藻遷移を含めた経過の把握・検討が重要となる。

今後の課題

この地点においてノコギリモクと同定した藻体には，本種だけでなく，形態的にやや異なる試料も含まれていた。しかし，本報告の段階では，それらを本種と区別するだけの決定的な情報を整理していないため，ノコギリモクに含めて表記した。この問題と，大きな形態的変異を含むものの，その研究が着手されたばかりのクロメの生態（筒井・大野 1992）の多様性の問題とについて，今後，生理・生態および形態学的な知見を収集し，関心を寄せている各研究機関との協力のもとに，分類学的な検討にも資する情報として蓄積していく考えである。

また，海中では透視可能な範囲が狭いため広い範囲のパノラマ的な写真撮影が困難であり，今後，水質汚濁の進んだ海域における研究においては，さらにその条件が劣化する恐れも大きい。研究結果の理解を専門家に限らず促すため，写真やグラフなどに加え，模式図や更に三次元CG（コンピュータ上の立体画像）などによる処理と表示（De Vaugelasand Meinesz，1995）などの立体的な表現手段の普及も重要と考える。

謝　辞

ホンダワラ類の種の検索に関する有益な議論をいただいた㈱海藻研究所の新井章吾氏，並びに，本稿の作成にあたり重要なご教示をいただいた北海道大学大学院理学研究科教授吉田忠生博士に厚くお礼申しあげる。また，調査現地の確保にご協力いただいた山口県大島郡東和町漁業協同組合に感謝する。なお，本研究の一部は，当所資源増殖部が平成6年度に実施した科学技術庁重点基礎研究課題として実施した。

要　約

基面の高さ別のホンダワラ植生を明らかにし，人為的な管理をなるべく必要としない海藻植生の調整技術の開発に資することを目的として行った。

瀬戸内海西部に位置する屋代島（山口県大島郡）東和町松が鼻地先において，1994年9月1日，11月30日，1995年2月27日および5月8日4回，スキューバ潜水により，水深2，4及び6mの傾斜の緩やかな，砂が薄く被覆した岩面または砂面からの比高別に，1000cm^2（25cm×40cm）の方形枠を用い，底質の特徴及び枠内に生育していた直立海藻を記録した。水深4mでは，砂底に設置されていた建材ブロックについても同様に調査した。

潜岬の岩面上では，比高が0.2m以上の基面では多年生のジョロモク，ノコギリモク及びトゲモクがみられた。一年生のアカモク及びホンダワラは主に比高0.2m以下に主にみられた。これに対し，水深4mの砂底に設置されていた建材ブロックでは，比高0.3mまで周年の大半にわたって一年生ホンダワラ類がみられた。このことから，砂底上の建材ブロック等の基質では，潜岬の岩面上におけるよりも，砂の作用の影響による物理的な環境の攪乱が生じやすく，海藻遷移の初期相が繰り返されやすい傾向がうかがわれる。

以上のことから，砂底における藻場造成にあたり，生育基盤の設置水深および基面の比高を多様化させることを中心とした，海藻植生の調整技術の可能性が示唆される。

文　献

新井章吾，1988：磯根生物と住み場環境の安定性．海洋科学，**20**，355-362．

De Vaugelas, J. & A. Meinesz, 1995:Survey of artificial reef's encrusting flora and fauna colonisation through use of image synthesis 3D models. *Proceedings of ECOSET'95 (International conference on ecological system enhancement technology for aquatic environment)*, 424-428.

Hasegawa, H. Y.Kawasaki and T.Terawaki, 1995: Study on new method for kelp foundation creation. Proceedings of ECOSET'95 (International conference on ecological system enhancement technology for aquatic environment), 481-486.

磯部雅彦，1994：日本の海岸の現状と問題点．海岸の環境創造―ウオーターフロント学入門―．1-8，朝倉書店，東京．

木橋秀峰・西村祐二郎，1984：周防大島，地学のガイド―山口県の地質とそのおいたち―，地学のガイドシリーズ15，コロナ社，東京，130-135．

菊池泰二，1973：藻場生態系．海洋生態学，海洋学講座 9，東京大学出版会，東京，23-36．

今野敏徳・中嶋　泰，1980：丹後半島五色浜周辺（京都府網野町海中公園候補地）の海藻植生について．海中公園センター報告，**69**，23-52．

今野敏徳，1984：漸深帯海藻群落の構造と群落形成に関する実験的研究．北海道大学学位論文．pp．390．

丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介・川崎保夫，1988：電源立地点の藻場造成技術の開発 第8報 アマモ場造成適地の砂地盤安定度の推定手法．電中研研報，U87069，pp.24．

中村達夫・宮後富博，1982：アカモク・ヤツマタモクの群落生態．有用海藻群落，近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究（マリーンランチング計画）プログレスレポート，昭和56年度，南西海区水産研究所，45-60 ．

南西海区水産研究所，1974：瀬戸内海の藻場―昭和46年の現状．pp.36．

南西海区水産研究所，1979：沿岸海域藻場調査　瀬戸内海関係海域藻場分布調査報告―藻場の分布―．pp.419．

西村三郎，1974：海浜域における生物群集の構造と維持．海の生態学←生態学研究シリーズ3，築地書院，東京，204-295．

Ozasa, H,. K.Nakase, A.Watanuki and H. Yamamoto, 1995: Structure accomodation to marine organisms. *Proceedings of ECOSET'95 (International conference on ecological system enhancement technology for aquatic environment)*, 406-411.

Southeast Asian Fisheries Development Center, 1990: Technical manual for resource enhancement, pp. 120.

高木伸雄・福屋正嗣・木田英之，1995：生態系環境に配慮した漁港施設の整備計画について（浜田漁港瀬戸ヶ島防波堤の事例）．*Proceedings of ECOSET'95 (International conference on ecological system enhancement technology for aquatic environment)*，418-423．

月舘潤一，1989：海中造林による魚介類・藻類の資源増大を目指して―西日本：ホンダワラ海中林の造成と利用―．海洋牧場（マリンランチング計画），農林水産技術会議事務局，恒星社厚生閣，東京，359-406．

筒井　功・大野正夫，1992：和歌山県白浜産クロメの成長・成熟と形態の季節的変化．藻類，**40**，39-46．

寺脇利信・新井章吾・川崎保夫，1995：藻場の分布の制限要因を考慮した造成方法．水産工学，32，131-140．

徳田　廣・大野正夫・小河久朗，1987：海藻資源養殖学．水産養殖学講座 10，緑書房，pp.354．

Uchida,T., K.Yoshikawa, A.Arai and S.Arai, 1991: Life-cycle and its control of *Sargassum muticum* (Phaeophyta) in batch cultures. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57，2249-2253．

Uchida,T.,1993: The life cycle of *Sargassum horneri* (Phaeophyta) in laboratory culture. *J. Phycol*. **29**，231-235．

吉田吾郎・有馬郷司・内田卓志，1995：褐藻アカモクの初期生長に及ぼす日長，照度，水温の影響．南西水研研報，**28**，21-32．

Yoshida, T., T. Sawada, and M.Higaki, 1963: *Sargassum* vegetation growing in the sea around Tsuyazaki, north Kyushu, Japan. *Pacific Science*, **17**，135-144．

吉田忠生・吉永一男・中嶋　泰，1995：日本産海藻目録（1995年改訂版）．藻類，**43**，115-171．

吉川浩二，1985：ホンダワラ藻場造成に関する研究―Ⅰ，ヤツマタモク親藻移植による藻場造成，南西水研研報，⒅，15-23．

吉川浩二，1986：ホンダワラ藻場造成に関する研究―

II，人工採苗した幼体の移植と成熟親藻投入によるホンダワラ類の生長，南西水研研報，(20)，137-146.
吉川浩二，1987：ホンダワラ藻場造成に関する研究—III，幼胚集積法によるヤツマタモク群落の形成，南西水研研報，(21)，25-35.

南西海区水産研究所業績A第45号(Contrinution No.A45 from the Nansei National Fisheries Research Institute)
舘脇正和・吉田忠生 両教授退官記念論文.
本報告のデータの一部は，日本水産学会中国・四国支部平成7年度5月例会において発表した。
寺脇利信・吉田吾郎・吉川浩二・有馬郷司：南西海区水産研究所 〒739-04 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5
(T. Terawaki, G. Yoshida, K.Yoshikawa and S. Arima: Nansei National Fisheries Research Institute, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan)

南西水研研報 (Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.), No.29 : 59-73 (1996)

Size Fractionated Phytoplankton Biomass and Primary Productivity in Osaka Bay, Eastern Seto Inland Sea, Japan

Mineo Yamaguchi and Ichiro Imai

Size fractionated phytoplankton biomass and primary productivity were measured in Osaka Bay during five research cruises made in September, December of 1984 and March, June and September of 1985. Chlorophyll *a* was determined fluorometrically and productivity was measured by an *in situ* ^{13}C method. The chlorophyll biomass (mg m^{-2}) ranged from 5.8 to 587.4 mg m^{-2}, with a mean of 56.2 mg m^{-2} for nanoplankton (less than 10μm) and 15.3 to 1020.9 mg m^{-2} with a mean of 131.5 mg m^{-2} for the total plankton. Phytoplankton biomass was higher in warm seasons than in cold. Nanoplankton accounted for 43 % of the total biomass in the Bay. Mean biomass in terms of carbon was calculated to be3.4 gC m^{-2} and 7.8 gC m^{-2} for nanoplankton and total plankton, respectively. Photosynthetic rates ranged from 0.07 to 14.21 gC m^{-2} d^{-1}, with a mean of 1.77 gC m^{-2} d^{-1} for nanoplankton, and 0.16 to 14.95 gC m^{-2} d^{-1} with a mean of 2.66 gC m^{-2} d^{-1} for total plankton. Photosynthetic rate per unit amount of chlorophyll *a* (assimilation number) at the surface varied from 2.1 to 8.9 mgC mgChl.a^{-1} $h^{-1}$for nanoplankton and from 2.4 to 10.6 mgC mgChl.a^{-1} h^{-1} for total plankton. Relative percentages of nanoplankton to total production varied considerably from 5 to 95% with season and area. Nanoplankton contribution was higher in warm seasons than in cold ones and was lower in northeastern part of the Bay than the southwestern offshore area throughout the survey. Annual primary production was calculated to be 646 gC m^{-2} yr^{-1} for nanoplankton, and 971 gC m^{-2} yr^{-1} for the total phytoplankton. Nanoplankton accounted for 67 % of total production in the Bay. These results indicate that Osaka Bay is one of the most productive waters in Japan and have the characteristics of highly eutrophicated waters where the contribution of nanoplankton is relatively small.

Key words: Osaka Bay, phytoplankton biomass, primary productivity, nanoplankton

Osaka Bay is one of the most eutrophicated bays in Japan, where red tides have occurred perennially (Joh *et al.* 1971). The Bay is, on the other hand, an important fishing ground. In Osaka Bay, about 62 to 135 thousand tons of fish have been exploited annually during 1980s which is equivalent to approximately 20 % of the total catch in the Seto Inland Sea. The catch is characterized by a high proportion (about 90 % of the total) of planktivorous fish such as anchovy, sardine and sand lance (Joh 1991). This fish production is derived ultimately from the primary production in the Bay and adjacent waters through several trophic levels. In addition it is important to evaluate the carrying capacity of the fishing ground for the establishment of a

management scheme for aquaculture. Nevertheless, studies of primary productivity in Osaka Bay have been scarce as well as in other neritic waters in Japan. Endo (1965) measured the primary production by the ^{14}C method at 2 stations in September in 1963 and Joh and Uno (1983) reported the phytoplankton production using the oxygen method. More recently Uye *et al.* (1986) examined the relationship between zooplankton and phytoplankton production using the ^{14}C method.

Importance of studying phytoplankton cell size has recently been emphasized because of the differences in cell size influence the response of phytoplankton to the environment and food chain dynamics (Ryther 1969, Malone 1980). In oceanic waters, nanoplankton play an important role as primary producers (Li *et al.* 1983, Takahashi and Bienfang 1983). Nanoplankton is also important as a prey of the microzooplankters (Verity 1986). However food chains connecting nanoplankton and microzooplankton are poorly detailed due to the lack of basic information on these organisms, especially in highly eutrophicated neritic waters such as Osaka Bay.

In the present paper, phytoplankton biomass and productivity in Osaka Bay were determined using two size categories, i.e., the nanoplankton and the total plankton. Because the use of radioactive carbon in the field has been restricted in Japan, we used the stable isotope of carbon, ^{13}C, for productivity measurements (Slawyk *et al.* 1977, Hama *et al.* 1983, Yamaguchi and Anraku 1984). Seasonal and regional variations in phytoplankton biomass and productivity within the Bay and the relationship between these measurements and oceanographic properties are discussed as well as the relative importance of nanoplankton in the total phytoplankton population.

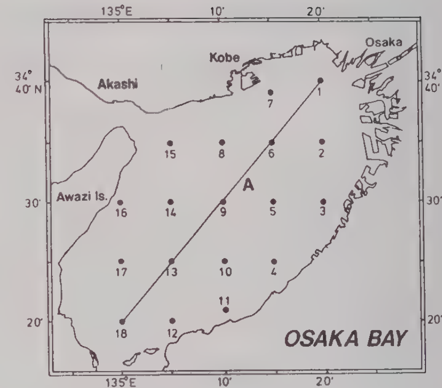


Fig. 1. Sampling stations (1−18) in Osaka Bay and position of transect A.

Materials and Methods

Study site Osaka Bay is located in the eastern part of the Seto Inland Sea (Fig. 1). Measurements of size fractionated phytoplankton biomass and productivity were made at 18 stations and 3 stations (Sts. 1, 9, 18), respectively, during five seasonal surveys carried out in September and December 1984, and March, June and September 1985.

Phytoplankton biomass Water samples were collected with 10 *l* Van Dorn samplers at the surface, 5 m, and at every 10 m for the stations deeper than 10 m, and at B-1 m (1 m above the bottom). The samples were pre-filtered by gravity through plankton netting (Nytal, mesh opening of 10 μm). The filtrates were filtered onto Whatman GF/C glass fiber filters and pigments extracted with 90 % acetone (Nanoplankton fraction). Unfiltered sample were used for the total chlorophyll *a* determinations (Total fraction). Chlorophyll *a* concentrations were measured fluorometrically with a Turner Designs 10-005R fluorometer. Microplankton (> 10 μm) chlorophyll *a*

concentrations were obtained from the difference between the total and the nanoplankton fractions. Phytoplankton chlorophyll *a* concentrations in the water column of one square meter (mg chl. *a* m^{-2}) were calculated by integrating over the depth. Part of the seawater samples were filtered onto precombusted Whatman GF/F filter for particulate organic carbon (POC) determinations. POC was measured with a CHN corder (MT-5, Yanagimoto Co., Japan). Carbon to chlorophyll *a* ratios were obtained from the slope of the linear regression of chlorophyll *a* on POC. Phytoplankton biomass in terms of carbon (gC m^{-2}) was then estimated by multiplying the chlorophyll *a* concentration by the carbon to chlorophyll *a* ratios.

Primary productivity Size fractionated primary productivity was determined by the ^{13}C method. Water samples were collected in Van Dorn samplers at the same depths as for the chlorophyll *a* determinations. The seawater was filtered through plankton netting (mesh size of 300 μm) to remove larger zooplankton and were size fractionated (total and $<10\mu$m fractions) in the same manner as described above. The fractionated water samples were incubated in two 1.2 *l* glass bottles with 1 ml of $NaH^{13}CO_3$ solution (22mg l^{-1}, Prochem, 90 atom %). Incubations were done *in situ* from around 10 a.m. to 3 p.m. (local time) by suspending the bottles at the same depth from which they were taken. At each depth, one sample was incubated in a clear bottle and the other one in a bottle wrapped in a black sheet to correct for dark CO_2 fixation. After incubation, the water samples were filtered as soon as possible through precombusted (450℃, 1h) Whatman GF/F glass fiber filters. The filters were frozen at −20℃ and brought back to the laboratory. The same water samples used for *in situ* incubation experiments were filtered and used for the analysis of POC, atom % of ^{13}C in the natural samples (Ans) and chlorophyll *a*. Concentrations of total inorganic carbon were determined by the pH and alkalinity method (Strickland and Parsons 1968) for the calculation of the atom % of ^{13}C in the total inorganic carbon (Aic).

The filters from the *in situ* incubation experiments were treated with HCl fumes to remove carbonate and were dried in a vacuum desiccator with active silica gel. Isotope ratios of ^{13}C and ^{12}C of the samples were measured by a quadrapole mass-spectrometer (Yanaco MSI-20). Atom % of ^{13}C in the samples were calculated as follows;

$$^{13}C \text{ atom } \% = 100\,(^{13}C)/((^{12}C)+(^{13}C)) = 100/(R+1),$$

where R is the isotope ratio of the sample. The photosynthetic rate (PR: mgC m^{-3} h^{-1}) was calculated according to Slawyk *et al.* (1979);

$$PR = P_0\,(Ais - Ans)/((Aic - Ais)t),$$

where Ans and Aic are the same as specified above, Ais is the atom % of ^{13}C in the incubated sample, P_0 is the POC in the natural sample (mgC m^{-3}) and t is the incubation period (h). The photosynthetic rate was corrected with the discrimination factor of ^{13}C according to Hama *et al.* (1983).

Photosynthetic rate in the water column below the surface area of 1 m^2 was calculated by numerical integration. Daily production rates were obtained by multiplying the hourly production rate by the number

of daylight hours for that day.

Environmental parameters Salinity and temperature profiles were determined with a STD system (Tsurumi Seiki, model 1).

Results

Environmental conditions Figure 2 shows vertical profiles of water temperature, salinity and density of water along transect A shown in Fig. 1. Water temperature was higher in the surface waters of northeast region of the Bay than western waters in September 1984, June and September 1985, while the reverse was the case in December 1984. In March 1985, the temperature was the lowest of all the seasons and was almost uniform throughout the whole water column. Downward intervals of the temperature isotherms indicate that water column was poorly stratified during the entire period of the present investigations. In contrast to temperature, salinity decreased toward the surface waters of the northeast regions. It was also observed that the horizontal salinity gradient was sharper than in the vertical direction, indicating the effect of a freshwater inflow from the northeastern part of the Bay. Water densities exhibited similar trends as was seen in salinity. From these oceanographic observations, Osaka Bay may be divided into two regions, i.e., northeastern part and southwestern part. The former is an area heavily influenced by the freshwater inflow from land throughout all seasons of the year and the latter is affected by the offshore water from Kii Channel.

Phytoplankton Biomass Vertical profiles of the total and nanoplankton chlorophyll *a* and relative abundance of the latter to the former (%) along transect A are shown in Fig. 3. Chlorophyll *a* concentrations were extremely high and variable in the northeastern waters of the Bay and progressively decreased towards the southwestern waters. For the total plankton fraction, chlorophyll *a* concentrations higher than 10 mg m^{-3} were observed from the surface down to the 10 m layers in the western and northeastern waters in September 1984 and were also observed in the whole water column down to the bottom in the northeastern waters in September 1985. In December 1984, the concentrations were lowest (less than 2 mg m^{-3}) compared with the other seasons and the distribution was uniform throughout the water column. Vertical profile of the total chlorophyll *a* in March 1985 was similar to those in June and September 1985 however concentrations were lower. From September 1984 to March 1985 chlorophyll *a* concentrations of the nanoplankton fraction were lower than 5 mg m^{-3} in all water sampled being slightly higher in the upper 20 m. High concentrations of 5 to 50 mg m^{-3} was observed in the northeastern waters of the Bay in June and September 1985. These distribution patterns of high chlorophyll *a* concentration were well consistent with that of low salinity waters (Fig. 2).

The contribution of nanoplankton fraction to the total was highest in June 1985, when more than 60 % of the chlorophyll *a* was attributed to nanoplankton throughout the water area examined. In September 1984 and 1985, the nanoplankton fraction was less pronounced than in June and the high contribution was restricted to subsurface and southwestern water of the Bay. The percentage of nanoplankton declined considerably in December and was at a minimum in March. Nanoplankton accounted for less than 20 % of the total chlorophyll *a* near the bottom in March (Fig. 3).

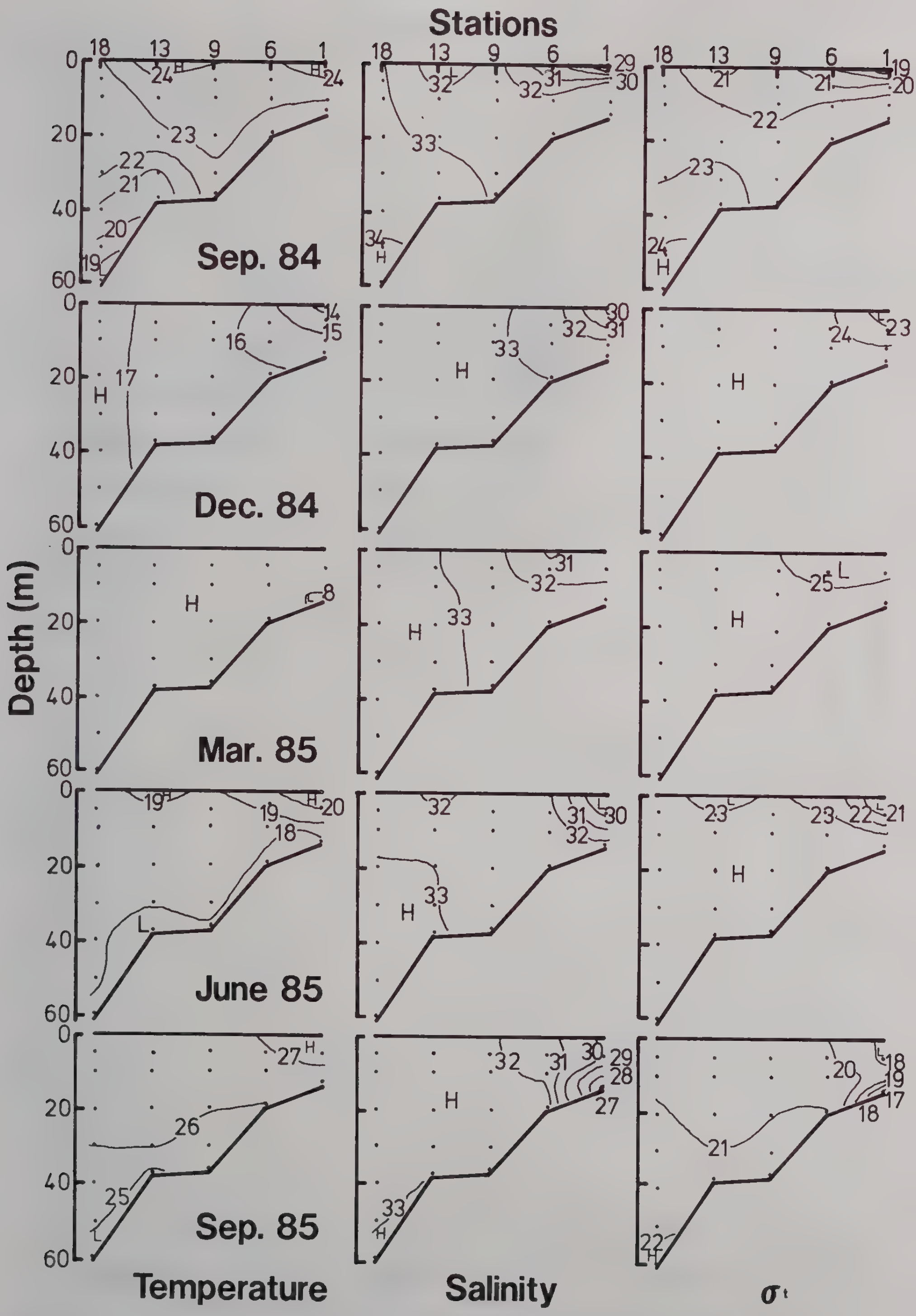


Fig. 2. Vertical profiles of temperature, salinity and density along the transect A shown in Fig.1.

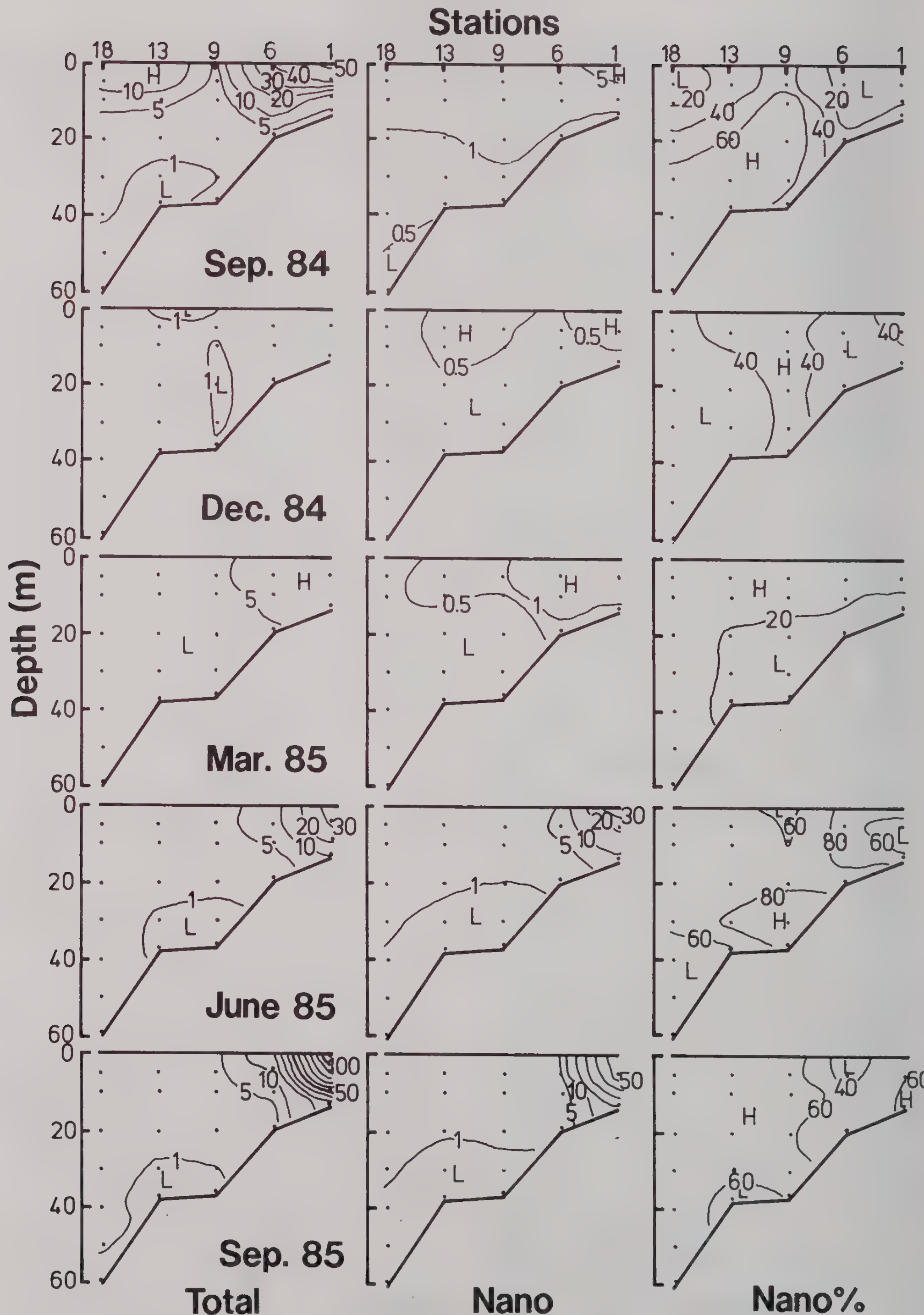


Fig. 3. Vertical profiles of chlorophyll *a* concentrations of the total fraction (Total), nanoplankton fraction (Nano) and relative percentage of nanoplankton chlorophyll *a* to the total (%) along the transect A shown in Fig. 1.

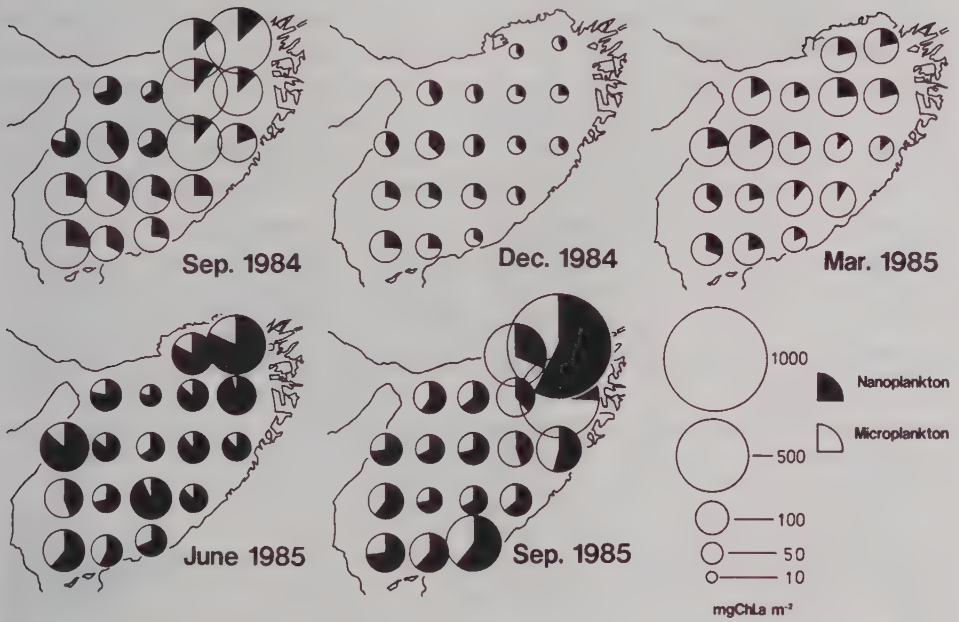


Fig. 4. Seasonal variations in the regional distributions of phytoplankton biomass and relative contribution of nanoplankton to the biomass in Osaka Bay.

Horizontal distributions of the integrated chlorophyll *a* value from the surface to the bottom (mg m^{-2}) and the relative abundance of nanoplankton and microplankton are shown in Fig. 4. Integrated chlorophyll *a* concentrations were generally higher in the northeastern waters of the Bay in all seasonal surveys except for December 1984, when it was higher in the western waters. Relative percentages of nanoplankton to the total chlorophyll *a* were always less than 50 % from September 1984 to March 1985, but they increased to between 29 and 73 % in September 1985. In June 1985, the percentage of nanoplankton was considerably higher varying from 45 to 97 %. An interannual difference in the percentage of nanoplankton were evident in the results of September of 1984 and 1985, the percentage being higher in 1985 than in 1984.

Nanoplankton and total chlorophyll *a* data obtained at each station were pooled for each sampling date (Table 1). The concentrations ranged from 0.25 to 59.62 mg m^{-3} (mean: 2.25 mg m^{-3}) for nanoplankton, and 0.36 to 115.67 mg m^{-3} (mean: 5.50 mg m^{-3}) for total plankton. Over the entire period of this study, the mean concentration was the highest in September 1985 and the lowest in December 1984 for both size fractions. The standard deviation (SD) of the mean of the chlorophyll *a* concentration was larger in September 1984, June and September 1985 than in December 1984 and March 1985. Thus chlorophyll *a* concentrations varied more considerably in the warm season than in the cold season of the year.

Table 2 shows the results of the regression analysis between of chlorophyll *a* and POC. The linear relationships between chlorophyll *a* and POC were significant.

Table 1. Chlorophyll *a* concentrations (mg m^{-3}) of the size-fractionated phytoplankton in Osaka Bay. n=number of samples.

Date	n	Nanoplankton (<10 μm)		Total	
		Range	Mean±SD	Range	Mean±SD
Sep. 1984	96	0.32– 7.75	1.68±1.38	0.44– 53.36	8.34±11.91
Dec. 1984	95	0.31– 1.04	0.50±0.15	0.57– 3.36	1.41± 0.52
Mar. 1985	94	0.26– 2.54	0.67±0.49	1.10– 10.58	3.55± 2.43
June 1985	95	0.37–35.77	3.82±4.89	0.57– 39.75	4.88± 5.72
Sep. 1985	94	0.25–59.62	4.58±9.20	0.36–115.67	9.32±19.29

Table 2. Carbon to chlorophyll *a* ratios estimated from linear regressions of POC on chlorophyll *a* of the total phytoplankton. All correlation coefficients (r) were statistically significant ($p<0.01$). n=number of samples.

Date	n	C/Chl.*a*	Intercept	r
Sep. 1984	54	56.8	240.3	0.94
Dec. 1984	52	90.6	84.8	0.66
Mar. 1985	52	79.6	149.9	0.91
June 1985	53	83.6	254.3	0.89
Sep. 1985	52	31.7	400.4	0.82
Pooled	263	39.9	318.8	0.82

Table 3. Integrated chlorophyll *a* and phytoplankton biomass in terms of carbon, the latter estimated from chlorophyll *a* concentrations and carbon to chlorophyll *a* ratios of the size-fractionated phytoplankton in Osaka Bay.

Date	Nanoplankton (<10 μm)			Total		
	Chlorophyll *a* (mg m^{-2})		Carbon	Chlorophyll *a* (mg m^{-2})		Carbon
	Range	Mean±SD	(g m^{-2})	Range	Mean±SD	(g m^{-2})
Sep. 1984	25.1– 62.8	43.0± 12.0	2.4	46.7– 408.6	180.6±109.6	10.2
Dec. 1984	5.8– 25.7	15.1± 6.2	1.4	15.3– 90.3	44.2± 20.1	4.0
Mar. 1985	7.6– 33.0	19.5± 8.1	1.6	53.1– 182.1	101.4± 33.0	8.1
June 1985	35.9–269.5	96.1± 60.6	8.0	45.6– 332.8	122.4± 69.9	10.2
Sep. 1985	43.8–587.4	107.4±125.2	3.4	61.0–1020.9	209.0±241.1	6.6

Thus phytoplankton biomass in terms of carbon (gC m^{-2}) was estimated by multiplying the chlorophyll *a* concentration by the slopes of the regression (carbon to chlorophyll *a* ratios). Thus estimated phytoplankton biomass in terms of chlorophyll *a* and carbon were summarized in Table 3. The chlorophyll biomasses (mg m^{-2}) for nanoplankton ranged from 5.8 to 587.4 mg m^{-2} (mean: 56.2 mg m^{-2}) and for the total plankton 15.3 to 1020.9 mg m^{-2} (mean: 131.5 mg m^{-2}). Thus nanoplankton accounted for 43 % on average of total biomass in Osaka Bay. The carbon biomass varied from 1.4 to 8.0 gC m^{-2} (mean: 3.4 gC m^{-2}) for nanoplankton, and from 4.0 to 10.2 gC m^{-2} (mean: 7.8 gC m^{-2}) for the total. Combining these data with the area of Osaka Bay (1529 km^2), phytoplankton carbon biomass in the entire Bay is calculated to be 5.2×10^3 ton C for nanoplankton and 11.9×10^3 ton C for the total phytoplankton.

Primary Productivity Vertical profiles of the photosynthetic rate obtained by *in situ* productivity experiments at Sts. 1, 9 and

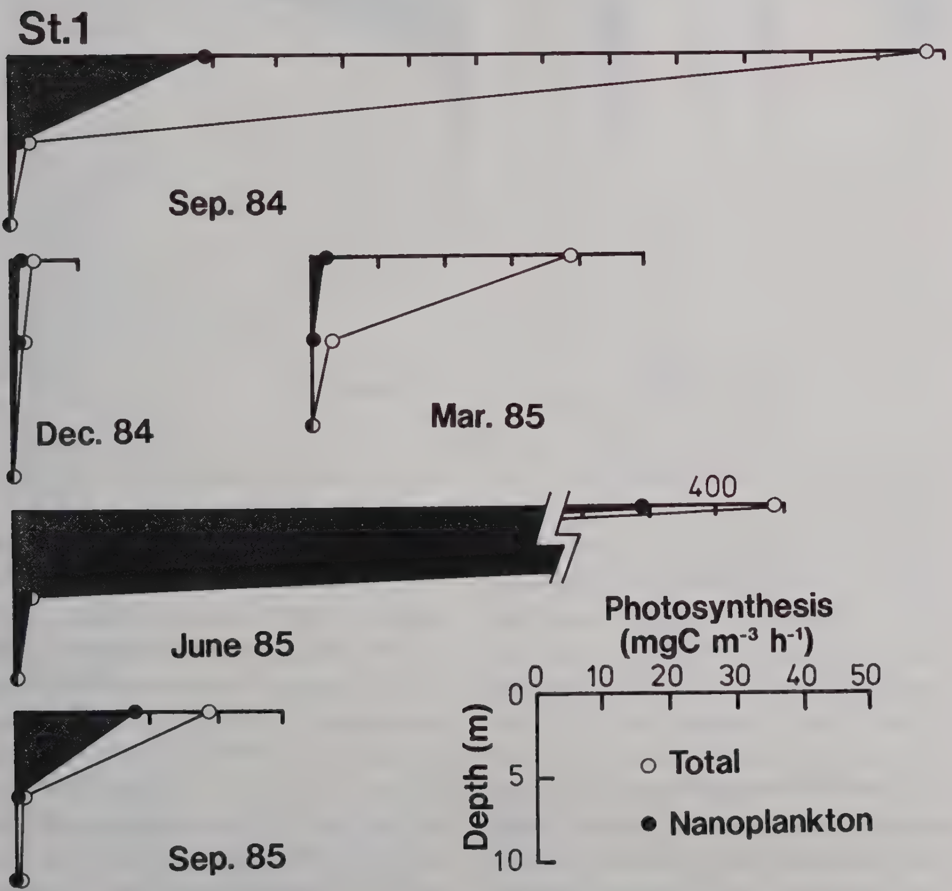


Fig. 5. Vertical profiles of the size fractionated photosynthetic rate at Sts. 1, 9 and 18.

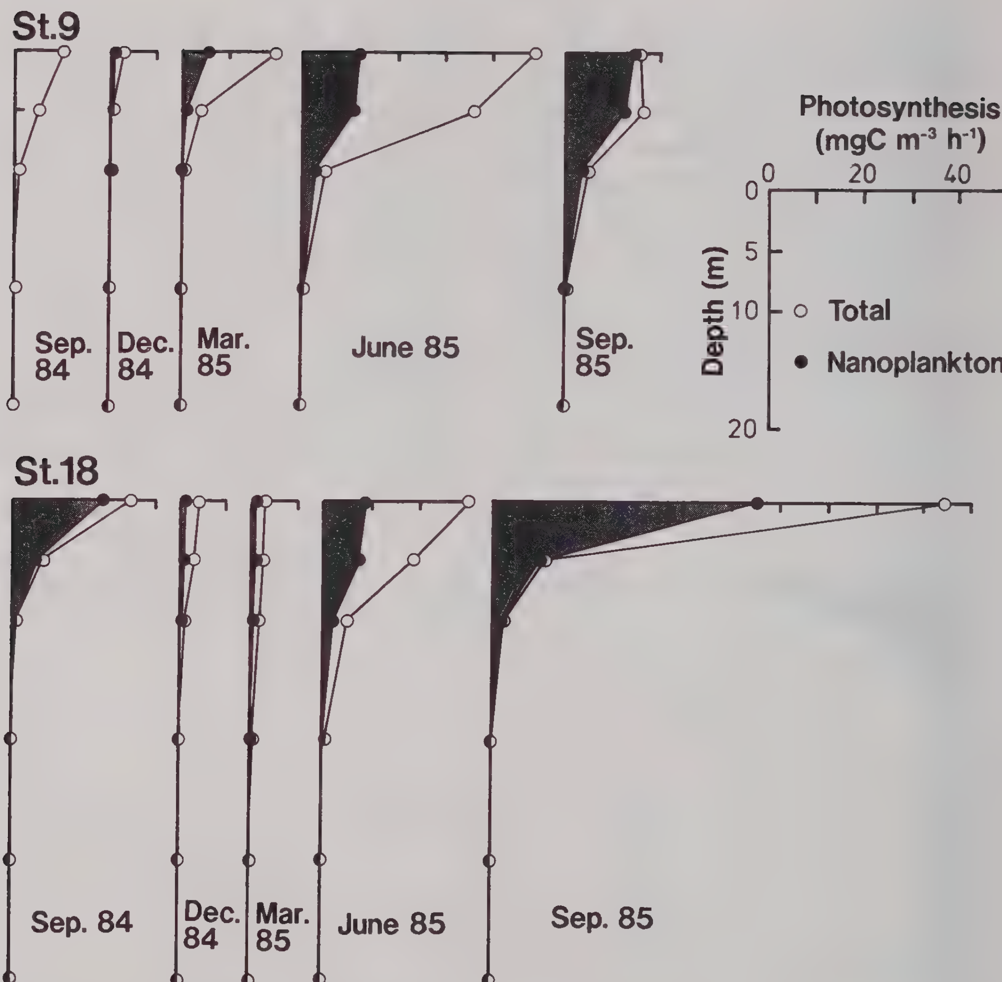


Fig. 5. Continued.

18 are shown in Fig. 5. During the experiments, size fractionation was not performed at St. 9 in September 1984. Seasonal and vertical variations of photosynthetic rate were most evident at St. 1. Except for December 1984, photosynthetic rate showed a considerable decrease with depth and the proportions of nanoplankton to the total also varied with depth and seasons. At Sts. 9 and 18, vertical profiles of the photosynthetic rate were almost uniform compared with that obtained at St. 1, but seasonal changes in the proportions of nanoplankton to the total were also evident. Maximum photosynthetic rate was observed at the surface at almost all the stations.

Daily photosynthetic rates and assimilation numbers (photosynthetic rate per unit amount of chlorophyll *a*) are summarized in Table 4. Photosynthetic rates ranged from 0.07 to 14.21 gC m^{-2} d^{-1} (mean: 1.77 gC m^{-2} d^{-1}) for nanoplankton, and 0.16 to 14.95 gC m^{-2} d^{-1} (mean: 2.66 gC m^{-2} d^{-1}) for total plankton. The rates were higher in September 1984, June and September 1985 than in December 1984

Table 4. Daily photosynthetic rates and assimilation numbers at the surface of size-fractionated phytoplankton in Osaka Bay.

Date	Sts.	Nanoplankton (<10 μm)		Total		Nanoplankton %
		Daily photosynthesis ($gC\ m^{-2}d^{-1}$)	Assimilation number ($mgC\ mgChl.a^{-1}h^{-1}$)	Daily photosynthesis ($gC\ m^{-2}d^{-1}$)	Assimilation number ($mgC\ mgChl.a^{-1}h^{-1}$)	
Sep. 1984	1	1.02	2.56	4.47	4.73	22.8
	9	ND	ND	0.78	6.51	ND
	18	1.01	6.49	1.29	7.22	78.3
Dec. 1984	1	0.10	5.79	0.22	4.84	45.8
	9	0.09	2.24	0.16	3.62	56.3
	18	0.14	2.98	0.31	5.57	45.2
Mar. 1985	1	0.07	1.22	1.36	2.11	5.1
	9	0.24	3.38	0.92	2.91	26.1
	18	0.21	1.75	0.48	2.02	43.8
June 1985	1	14.21	12.23	14.95	11.60	95.1
	9	1.62	7.66	5.00	10.58	32.4
	18	1.15	6.89	3.07	9.70	37.5
Sep. 1985	1	0.59	0.51	1.00	0.45	59.0
	9	1.64	10.56	1.90	8.57	86.3
	18	2.61	9.48	3.96	11.35	65.9
Mean		1.76		2.66		

and March 1985. Mean assimilation number of the total plankton obtained at the surface over the three stations were 6.2, 4.7, 2.4, 10.6 and 6.6 mgC mgChl.a^{-1} h^{-1} in September and December 1984 and March, June and September 1985, respectively. The respective values obtained for nanoplankton were 4.5, 3.7, 2.1, 8.9 and 7.1 mgC mgChl.a^{-1} h^{-1} and were slightly lower than those of the total plankton (Table 4).

Relative contributions of nanoplankton production to the total production varied with season and area from 5 to 95% (Table 4). Nanoplankton contribution was lower in cold seasons and was higher in warm season. Areal differences of the nanoplankton contribution were evident in each season, but were variable from season to season. While the contributions were lower in northeastern part of the Bay (St.1) than in offshore area (Sts. 9 and 18) in September 1984, March and September 1985, a reverse pattern was observed in June 1985. No appreciable areal difference was seen in December 1984.

Based on the daily photosynthetic rate, annual primary production was calculated to be 646 gC m^{-2} yr^{-1} for nanoplankton, and 971 gC m^{-2} yr^{-1} for the total phytoplankton. Thus nanoplankton production accounted for 67 % on average of the total

primary production in the Bay. Annual production in the whole Osaka Bay was estimated to be 9.8×10^5 ton C for nanoplankton and 14.8×10^5 ton C for the total phytoplankton.

Discussion

Chlorophyll *a* concentrations in Osaka Bay ranged from 0.38 to 115.67, with a mean of 5.50 mg m^{-3}. The chlorophyll *a* concentration in Osaka Bay is 10 to 40 times higher than in the Kuroshio and Oyashio regions (Saijo and Ichimura 1960), and about 4 times higher than that obtained in Suo Nada, western Seto Inland Sea (Yamaguchi and Anraku 1984), but similar to that in Ise Bay (Iwasaki *et al.* 1982). The range of chlorophyll *a* concentrations in Osaka Bay is nearly identical to that reported in Tokyo Bay (Brandini and Aruga 1983). In terms of annual mean of integrated chlorophyll *a*, the present results from Osaka Bay (132 mg m^{-2}) is about twice as high as that found in Ise Bay and Mikawa Bay (Saijo *et al.* 1978).

Mean primary productivity in Osaka Bay was calculated as 2.66 gC $m^{-2}d^{-1}$. This value is 6 to 9 times higher than the estimate for the whole area of the Seto Inland Sea (Endo 1970) and that in Suo Nada (Yamaguchi and Anraku 1984). The value is also one order of magnitude higher than that reported from the Kuroshio and Oyashio regions (Saijo and Ichimura 1960, Aruga and Monsi 1962). But this value is comparable to the value reported in Tokyo Bay (Yamaguchi and Shibata 1979). From these comparisons with other areas around Japan, it can be said that the phytoplankton biomass and its productivity in Osaka Bay is one of the most productive regions in Japan.

Assimilation number obtained in this study is almost identical to that obtained in Suo Nada (Yamaguchi and Anraku 1984), but is higher than that in Kuroshio and Oyashio regions (Saijo and Ichimura 1960). Endo (1965) investigated the phytoplankton production and chlorophyll *a* in Osaka Bay. From the data of Endo (1965), the assimilation number was calculated to be 3.8 mgC mgChl.a^{-1} h^{-1} for the year of 1965, which is less than the 6.1 mgC mgChl.a^{-1} h^{-1} of the present study. Therefore, the assimilation number in Osaka Bay has increased nearly two times during the last twenty years. This may reflect the changes in phytoplankton species composition (Joh 1980) and/or enhanced eutrophication during this period which may affect to the physiological state of phytoplankton populations in the Bay.

Nanoplankton were responsible for on average 43 % of the phytoplankton carbon biomass, and 67 % of phytoplankton productivity over the study period. Our results contrast to those reported from oceanic waters, where nanoplankton typically accounted for more than 75 % of the biomass and 80 % of the productivity of phytoplankton (Malone 1980). Our results are, however, comparable to the observations made in Narragansett Bay and Hiroshima Bay, where nanoplankton contributed 47 % of the biomass and 51 % of the phytoplankton production (Durbin *et al.* 1975, Yamaguchi *et al.* 1995). From these comparisons, it is considered that the low contribution of nanoplankton to the total phytoplankton is one of the characteristics of eutrophicated coastal waters (Kalff 1972).

Seasonal variations of the relative contribution of nanoplankton biomass to the total were marked in Osaka Bay. Nano-

plankton fraction dominated in the phytoplankton population during the early summer and microplankton dominated during the winter to early spring. These seasonal patterns of dominance of each size category have also been reported in other waters (Durbin *et al.* 1975, Larsson and Hagström 1982, Maita and Odate 1988). Several factors such as differences in the growth rates between nano and microplankton (Malone 1980), nutrient conditions (Maita and Odate 1988), seasonal changes in grazing pressure by copepods (Chervin 1978) and by microzooplankton (Verity 1986) have been considered to attribute to seasonal variations in size compositions of phytoplankton. More information is necessary to elucidate the major sources of variation of the relative importance of different sizes of phytoplankton in Osaka Bay.

In conclusion, the present results clearly indicate that Osaka Bay is one of the most productive waters in Japan, where nearly 1 kg C m^{-2} is produced annually by phytoplankton. However, these high production level may not be efficiently transferred to higher trophic levels, because 67 % of the production is attributed to small sized nanoplankters. Possible low transfer efficiencies in the Bay could result in accelerating eutrophication through the processes of bacterial decomposition and remineralization. As a next step, a study on the food web structure in Osaka Bay is necessary toward to the effective utilization of this high production and a solution for preventing further eutrophication in the Bay.

Acknowledgments

We are grateful to Dr. M. Anraku, Overseas Fishery Cooperation Foundation, for his helpful advice and encouragement during the study. We also express sincere thanks to Dr. T. Ikeda for critical reading of the manuscript and to the captain and crew of R/V Shirafuji maru, Nansei National Fisheries Research Institute, for their help during the research cruises. This study was supported by the Science and Technology Agency of Japan.

References

Aruga, Y. and M. Monsi, 1962: Primary production in the northwestern part of the Pacific off Honshu, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan,* **18**, 85-94.

Brandini, F.P. and Y. Aruga, 1983: Phytoplankton biomass and photosynthesis in relation to the environmental conditions in Tokyo Bay. *Jap.J. Phycol.*, **31**, 129-147.

Chervin, M., 1978: Assimilation of particulate organic carbon by estuarine and coastal copepods. *Mar. Biol.*, **49**, 265-275.

Durbin, E.G., R.W. Krawiec and T.J. Smayda, 1975: Seasonal studies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay (USA). *Mar. Biol.,* **32**, 271-287.

Endo, T.,1965: On primary production in the Seto Inland Sea. I. Primary production and hydrographic condition. *J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ.*, **6**, 85-100.

Endo, T., 1970: On primary production in the Seto Inland Sea. *J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ.*, **9**, 177-221

Hama, T., T. Miyazaki, Y. Ogawa, T. Iwakuma, M. Takahashi, A. Otsuki and S. Ichimura, 1983: Measurement of photosynthetic production of marine phytoplankton population by using a stable ^{13}C isotope. *Mar. Biol.,* **73**, 31-36.

Iwasaki, H., K. Iwasa, K. Ami and T. Yazima, 1982: Environmental characteristics of Ise Bay and red tide blooms. *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.,* **9**, 57-67.

Joh, H., 1980: Phytoplankton community in Osaka Bay. *Kaiyo Kagaku,* **12**, 778-790.

Joh, H., 1991: Change of marine environment of Osaka Bay due to coastal development *Bull. Coast. Oceanogr.,* **29**, 3-11

Joh, H., R. Adachi and R. Miyoshi, 1971: Ecological study on the red tide in Osaka Bay, 1968-1969. *Bull. Osaka Prefectural Fish. Expl. Station,* **No.3**, 1-115.

Joh, H. and S. Uno, 1983: Zooplankton standing stock and their estimated production in Osaka Bay. *Bull. Plankton Soc. Japan,* **30**, 41-51.

Kalff, J., 1972: Netplankton and nanoplankton production and biomass in a north temperate zone lake. *Limnol. Oceanogr.,* **17**, 712-720.

Larsson, U. and A. Hagström, 1982: Fractionated phytoplankton primary production, exudate release and Baltic eutrophication gradient. *Mar. Biol.*, **67**, 57-70.

Li, W.K.W., D.V. Subba Rao, W.G. Harrison, J.C. Smith, J.J. Cullen, B. Irwin and T. Platt, 1983: Autotrophic picoplankton in the tropical ocean. *Science,* **219**, 292-295.

Maita, Y. and T. Odate, 1988: Seasonal changes in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funka Bay, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan,* **44**, 268-279.

Malone, T. C., 1980: Algal size. In "The physiological ecology of phytoplankton" (ed. by MORRIS, I.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 433-463.

Ryther, J.H., 1969: Photosynthesis and fish production in the sea. *Science,* **166**, 72-76.

Saijo, Y. and S. Ichimura, 1960: Primary production in the northwestern Pacific Ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan,* **16**, 139-145.

Saijo, Y., A. Yagi and O. Mitamura, 1978: Isewan mikawawan no suisitsu to kiso seisan. *Bull. Coast. Oceanogr.,* **16**, 57-64.

Slawyk, G., Y. Collos and J.C. Auclair, 1977: The use of the ^{13}C and ^{15}N isotopes for the simultaneous measurement of carbon and nitrogen turnover rates in marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **22**, 925-932.

Slawyk, G., Y. Collos and J.C. Auclair, 1979: Reply to comment by Fisher et al. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, 595-597.

Strickland, J. D. H. and T.R. Parsons, 1968: A practical handbook of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, No.167, 311pp.

Takahashi, M. and P.K. Bienfang, 1983: Size structure of phytoplankton biomass and photosynthesis in subtropical Hawaiian waters. *Mar. Biol.*, **76**, 203-211.

Uye, S., H. Kuwata and T. Endo, 1986: Standing stocks and production rates of phytoplankton and planktonic copepods in the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan,* **42**, 421-434.

Verity, P.G., 1986: Grazing of phototrophic nanoplankton by microzooplankton in Narragansett Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **29**, 105-115.

Yamaguchi, M. and M. Anraku, 1984: Primary productivity in Suo-Nada, western Seto Inland Sea. *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, **17**, 135-149.

Yamaguchi, M., I. Imai and Y. Matsuo, 1995: Seasonal changes in biomass and photosynthetic rate of phytoplankton in Hiroshima Bay. *Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.,* **28**, 63-72.

Yamaguchi, Y. and Y. Shibata, 1979: Tokyowan niokeru kisoseisan no genkyou. *Bull. Coast. Oceanogr.*, **16**, 106-111.

大阪湾におけるサイズ画分ごとの植物プランクトン現存量と基礎生産量

山口峰生・今井一郎

1984年9月～1985年9月の期間，計5回の航海によって，大阪湾の定点でサイズ画分（ナノプランクトン及び全植物プランクトン）ごとの植物プランクトン現存量と生産量の測定を行った。現存量はクロロフィルaを螢光法で求め，それに炭素／クロロフィルa比を乗じて炭素量に換算した。また，生産量は^{13}Cをトレーサーとした現場吊り下げ法によった。クロロフィルa現存量はナノプランクトン画分(10μm以下)で5.8～587.4 mg m^{-2}（平均56.2 mg m^{-2}）の範囲に，全植物プランクトン画分で15.3～1020.9 mg m^{-2}（平均131.5 mg m^{-2}）の範囲にあった。現存量は高水温期に高く，低水温期に低かった。ナノプランクトン画分は全植物プランクトン現存量の43％を占めた。炭素量に換算した現存量は，ナノプランクトン画分，全植物プランクトン画分でそれぞれ3.4 gC m^{-2}，7.8 gC m^{-2}であった。光合成速度はナノプランクトン画分，全植物プランクトン画分でそれぞれ0.07～14.21 gC m^{-2} d^{-1}(平均1.77 gC m^{-2} d^{-1})，0.16～14.95 gC m^{-2} d^{-1}（平均2.66 gC m^{-2} d^{-1}）であった。単位クロロフィルa当たりの光合成速度はナノプランクトン画分，全植物プランクトン画分でそれぞれ2.1～8.9 mgC mgChl. a^{-1} h^{-1}, 2.4～10.6 mgC mgChl. a^{-1} h^{-1}であった。全生産量に対するナノプランクトンの寄与率は季節及び海域によって5～95％と大きく変動した。ナノプランクトンの寄与率は高水温期に大きく，低水温期に小さく，また海域的には，湾東北部で小さく，湾南西部で大きかった。年間基礎生産量はナノプランクトン画分，全画分でそれぞれ646 gC m^{-2} yr^{-1}，971 gC m^{-2} yr^{-1}であった。ナノプランクトンは全生産量の67％を占めた。以上のように，大阪湾は我国で最も基礎生産の高い海域であること，さらにそこではナノプランクトンの現存量及び生産量に占める寄与率が比較的小さいことが判明した。

1995年12月12日受理（Accepted December 12, 1995）
南西海区水産研究所業績A第46号
(Contribution No.A46 from the Nansei National Fisheries Research Institute)

山口峰生：南西海区水産研究所
〒739-04　広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5
(M. Yamaguchi: Nansei National Fisheries Research Institute, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan)
今井一郎：京都大学農学部熱帯農学専攻
〒606-01　京都市左京区北白川追分町
(I. Imai: Faculty of Agriculture, Kyoto University, Sakyou, Kyoto 606-01, Japan)

南西水研研報 (Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.), No.29：75-86 (1996)

北部広島湾における海洋細菌の現存量と生産量，および従属栄養性微小鞭毛虫類の季節変化

今井一郎・山口峰生

Seasonal Fluctuations in Abundance and Production of Bacteria, and Quantitative Relation with Heterotrophic Microflagellates in Northern Hiroshima Bay, Seto Inland Sea

Ichiro Imai and Mineo Yamaguchi

From March 1984 through to September 1985, seasonal fluctuations in abundance and production of bacteria, and the quantitative relation with heterotrophic microflagellates were investigated at a station in northern Hiroshima Bay, Seto Inland Sea. The mean cell volume of bacteria measured by image analysis ranged between 0.074 and 0.115μm^3 (mean of total measurements = 0.094μm^3, n=1260). Bacteria measured with DAPI-staining and epifluorescence microscopy were 0.9×10^6 ~ 4.8×10^6 cells・ml^{-1} in number and 7.6 ~ 40.4μgC・l^{-1} in biomass. Bacterial production determined by the FDC (frequency of dividing cells) method ranged between 5.5 and 63.3μgC・l^{-1}・day^{-1}. The bacterial biomass and production were more abundant from May to October, and averaged 15% of the phytoplankton biomass and 26% of primary production, respectively. Heterotrophic microflagellates (HMF) were 1.0×10^3 ~ 8.8×10^3 cells・ml^{-1} in number and 1.8 ~ 20.1 μgC・l^{-1} in biomass, and were more abundant from June to September. The mean ratios of HMF/bacteria were 1/613 in number and 0.47/1 in biomass, respectively. Grazing rates of HMF on bacteria estimated from HMF densities and water temperatures ranged between 0.007・h^{-1} and 0.127・h^{-1} with the higher rates in the summer. The ratio of the grazing rate to the bacterial growth rate (grazing/growth, %) was estimated to be 15% ~ 162% with a mean of 67%. It is inferred that bacteria utilized about a half of the primary production and then bacteria were vigorously grazed by HMF in the food webs of coastal seas such as Hiroshima Bay.

Key words: Hiroshima Bay, Bacteria, Biomass, Production, Heterotrophic microflagellates, Microbial loop

近年の測定技術の著しい発達により，海洋の生態系における海洋細菌の挙動が次第に明らかにされつつあり，とりわけ物質循環の中で果たす役割の重要性が認識されるようになってきた。すなわち細菌は，代謝・増殖活動を通じて，無機栄養塩を再生回帰させる分解者としての役割を演ずるだけでなく，自身の増殖による粒状有機物の生産者としての役割をも果たしているのである。増殖した細菌は，従属栄養性微小鞭毛虫類（Heterotrophic microflagellates：以後

HMFと称する）を中心とする微小な原生動物に捕食されて，食物連鎖を通じて無機化され，あるいは高次段階の動物へと転送されることになる。このような連環は微生物ループ（Microbial loop）と呼ばれ（Azam *et al.* 1983），水界の物質循環と食物連鎖（食物網）を理解する上で極めて重要な鍵となる（Sherr *et al.* 1986，今井 1989，1990，谷口 1990a，b，永田1993b，木暮 1994a）。

細菌とHMFは微生物ループの根幹を成す，重要な生物群である。しかしながら，我が国の周辺海域において，これら生物群の量的な変動と関係を調べた研究は，極めて少ないのが現状である。そこで本研究では，北部広島湾に位置する水産庁南西海区水産研究所の桟橋において，周年にわたり季節的に，海洋細菌の密度，現存量，FDC法（Hagström *et al.* 1979）による細菌増殖速度，および生産量を測定した。さらに，細菌の捕食者であるHMFの，周年にわたる密度と現存量の季節変化を調べ，細菌捕食速度を算出して，それらの微生物ループにおける役割を考察した。

材料および方法

細菌密度と現存量

1984年3月26日から1985年9月10日まで，原則として毎月1回，計21回，北部広島湾に位置する南西海区水産研究所の桟橋（Fig.1）において，2m層から採水を行った。採水試料はねじ口試験管に収容して，グルタールアルデヒドを用いて固定し（最終濃度 0.5%），冷蔵保存した。試水中の総細菌数は，蛍光染料DAPI（4'6-diamidino-2-phenylindole）を用いた染色（最終濃度0.5μg・ml^{-1}）を行った後，Sudan black Bで染めた孔径0.2μmのNuclepore filter（Zimmermann *et al.* 1978）上に濾過捕集し，無蛍光イマーションオイルで封入して落射蛍光顕微鏡による直接検鏡によって計数を行った（Porter and Feig 1980，今井 1984）。また各試水中の細菌細胞の平均体積（各試水で60細胞計測）は，画像解析によって求めた（今井 1984）。炭素量変換係数としては0.087gC・cm^{-3}（Ferguson and Rublee 1976）を用い，上述の方法で求めた各試水中の総細菌密度と細菌細胞平均体積から，炭素量としての細菌現存量を算出した。



Fig.1. The sampling location at the pier of the Nansei National Fisheries Research Institute in Hiroshima Bay, Seto Inland Sea. Water samples were collected from 2m depth.

FDC法による細菌増殖速度と生産量

FDC法（分裂細胞頻度法）は，細胞分裂が進行中の細菌細胞が全体に対して占める割合（Frequency of dividing cells: FDC，%）を測定することにより，試水中の細菌の増殖速度を推定する方法である（Hagström *et al.* 1979, Larsson and Hagstrom 1982）。本法により，海水中の細菌増殖速度，さらには生産量を求めた。

南西海区水産研究所桟橋の2m層の水温が，約10℃（1984年4月3日），15℃（5月11日），20℃（6月29日），および25℃（8月1日）に達した時に採水を行い，得られた海水を孔径2μmのNuclepore filterで濾過して，細菌捕食者を除いた試水を調製した。実験には，細菌捕食者を除いただけの試水，および除菌海水（孔径0.22μmのメンブラン・フィルターで濾過）でこの試水を1/2，1/5，1/10に希釈したものを用いた。また，1/2と1/10に希釈したものについては，栄養強化培養液（Trypticase peptone 500mg と Yeast extract 50mgを1 literの海水に添加した）（Ishida *et al.* 1980，Imai 1987）を加えて，Trypticase peptone 濃度が5mg・

l^{-1}，10mg・l^{-1}，および20mg・l^{-1}になるように調製した実験シリーズを設けた。以上から，各温度の実験において，実験開始時の細菌密度と添加有機物濃度の組合せにより，10通りが設定されたことになる。このような操作は，種々の増殖速度を得るために行ったものである。これらの培養には，450℃で最低1時間燃焼処理した試薬瓶を用いた。当該温度において暗条件下で培養し，4～5時間毎に少量の試水を採取して，グルタールアルデヒドで固定した（最終濃度0.5％）。前述のＤＡＰＩ染色と落射蛍光顕微鏡を用いた直接検鏡計数法によって，総細菌数の経時的変化を調べて増殖速度（μ）を計算すると同時に，ＦＤＣを測定した（30視野以上）。細胞の中央部付近にくびれを生じている細胞を細胞分裂が進行中のものとした（Hagström *et al.* 1979）。

各温度条件について，対数増殖期初期のＦＤＣとその時のμの間の回帰直線式を計算し，これをＦＤＣからμを推定するための基本式とした。任意の温度におけるＦＤＣとμの関係式は，その温度に近い2式の傾きと切片を比例計算して求めた。なお，温度が10℃以下の場合は10℃の関係式を，25℃以上の場合は25℃の関係式を用いて，μを計算した。

ＨＭＦ密度と現存量

ＨＭＦ（10μm以下）の計数は，ＤＡＰＩ－ＦＩＴＣ（Fluorescein isothiocyanate）二重染色と落射蛍光顕微鏡を用いた直接検鏡計数法によった（Sherr and Sherr 1983a，b，今井・伊藤　1984）。桟橋から得た固定試水を，共栓試験管あるいは共栓三角フラスコに5～25mlとり，ＤＡＰＩを最終濃度0.1μg・ml^{-1}，およびＦＩＴＣを1～2μg・ml^{-1}になるよう各々加えた。Sudan black Bで染色した孔径1.0μmのNuclepore filter上に濾過捕集し，検鏡計数を行った。青色励起と紫外線励起を使い分け，接眼格子（10×10）内に見えるＨＭＦを25視野以上，合計50細胞以上を計数して細胞密度（cells・ml^{-1}）を求めた。また，1試料につき50細胞の粒子径を接眼ミクロメーターで測定し，球あるいは回転楕円体として平均体積を求めた。炭素量変換係数として0.07gC・cm^{-3}（Sorokin 1979）を用い，これに平均体積と細胞密度を乗じて，炭素量としての現存量を算出した。

ＨＭＦによる細菌捕食速度は，以下のようにして推定した。Andersen and Fenchel（1985）が報告した自然海水中のＨＭＦの濾水率1.0×10^{-5}ml・h^{-1}・cell^{-1}（温度15℃）の値を用い，濾水率のQ_{10}の値を2として（Fenchel 1987，Nagata 1988），現場水温とＨＭＦ細胞密度から，細菌捕食速度を算出した。

結果および考察

細菌の増殖速度とＦＤＣ

10℃から25℃までの間，5℃毎に4段階に設けた実験温度における，細菌のＦＤＣと増殖速度（μ）の関係をFig.2に示した。温度の高い

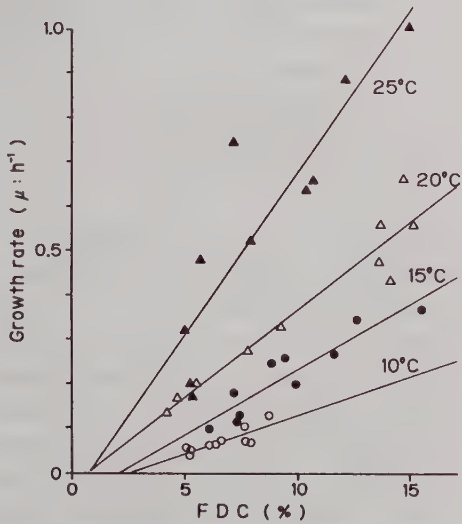


Fig.2. Relationship between the FDC (Frequency of Dividing Cells) and growth rates at four different temperatures.

方が，回帰直線の傾きが大きく，同一のＦＤＣの値でも高いμを与えることがわかる。それゆえ，ＦＤＣだけでなく温度も，μを得るための必須のパラメーターとなっていることが明らかである。各温度におけるＦＤＣとμの関係式は，Table 1に示した通りである。

Newell and Christian（1981）は，ＦＤＣとμの関係式$\ln\mu = 0.299 \cdot \mathrm{FDC} - 4.961$を提起した。

Table 1. Growth rate equations as a function of FDC (frequency of dividing cells) at four different temperatures.

Temperature	Equation
10℃	$\mu = 0.0174 \cdot \mathrm{FDC} - 0.0421$ (n=10, r=0.83*)
15℃	$\mu = 0.0296 \cdot \mathrm{FDC} - 0.0615$ (n=10, r=0.93**)
20℃	$\mu = 0.0395 \cdot \mathrm{FDC} - 0.0249$ (n=10, r=0.96**)
25℃	$\mu = 0.0731 \cdot \mathrm{FDC} - 0.0507$ (n=10, r=0.89**)

* significant at the 1% level
** significant at the 0.1% level

Table 2. Range and mean of bacterial data obtained at the sampling station.

	Minimum		Maximum	Mean
Number ($\times 10^6$ cells·ml^{-1})	0.9	–	4.8	2.1
Mean volume (μm^3)	0.074	–	0.115	0.094
Biomass (μgC·l^{-1})	7.6	–	40.4	16.8
Growth rate (h^{-1})	0.018	–	0.150	0.060
Production (μgC·l^{-1}·day^{-1})	5.5	–	63.3	24.7
Biomass ratio (%) (Bacteria/Phytoplankton)	5	–	31	15
Production ratio (%) (Bacteria/Phytoplankton)	3	–	197	26

これは温度26～29℃の条件下で導き出した式であり，低温下でのものがないので，μの季節変化を把握することは不可能である。今井（1985）も1983年7月の周防灘において，$\ln\mu=0.408\cdot\mathrm{FDC}-4.281$（r=0.80，n=31）の関係式を得ているが，これも同様のことがいえる。Hagström *et al.*（1979）とLarsson and Hagström（1982）は5～15℃の関係式を，Hagström and Larsson（1984）は0～20℃の関係式を提出している。本研究によって今回得られた各温度（10～25℃）でのＦＤＣとμとの関係式によって，瀬戸内海のような温帯水域の周年にわたる細菌の増殖速度の測定が可能になった。

水界の細菌の増殖速度に関しては，^{3}Hで標識したthymidineの取り込み速度を基本にした方法（Fuhrman and Azam 1980，木暮 1994b）が，世界的には一般的に用いられている。しかしながら，我が国周辺水域においては放射性物質の使用が厳しく制限されているので，この方法は使用困難である。ＦＤＣ法は，やや熟練を要求されるが，放射性物質の使用や現場での培養を必要としないため，ＦＤＣとμの関係式を用意しておけば，多数の試料について細菌の増殖速度を季節的に調べることができる（Hagström *et al.* 1979，今井 1989，木暮 1990）という大きな利点を持つ。

細菌の現存量と生産量

南西海区水産研究所の桟橋2m層における，1984年3月26日から1985年9月10日までの間の，総細菌数，現存量，生産量，および水温の季節的変動をFig.3に，そして細菌に関する値の変動の幅と平均値をTable 2に要約して示した。水温は9.0～27.6℃の間で変動した。総細菌数は0.9×10^6～4.8×10^6 cells·ml^{-1}の間で変動し，冬季の低水温期に少なく，比較的水温の高い時期に多かった。同じ場所で，1990年7月4日～1991年7月2日の間毎週1回，0m，3m，海底上1mの各層から採水して，同様に総細菌数を調べた結果，1.01×10^6～4.89×10^6 cells·ml^{-1}の間で変動し，やはり高水温期に多く低水温期

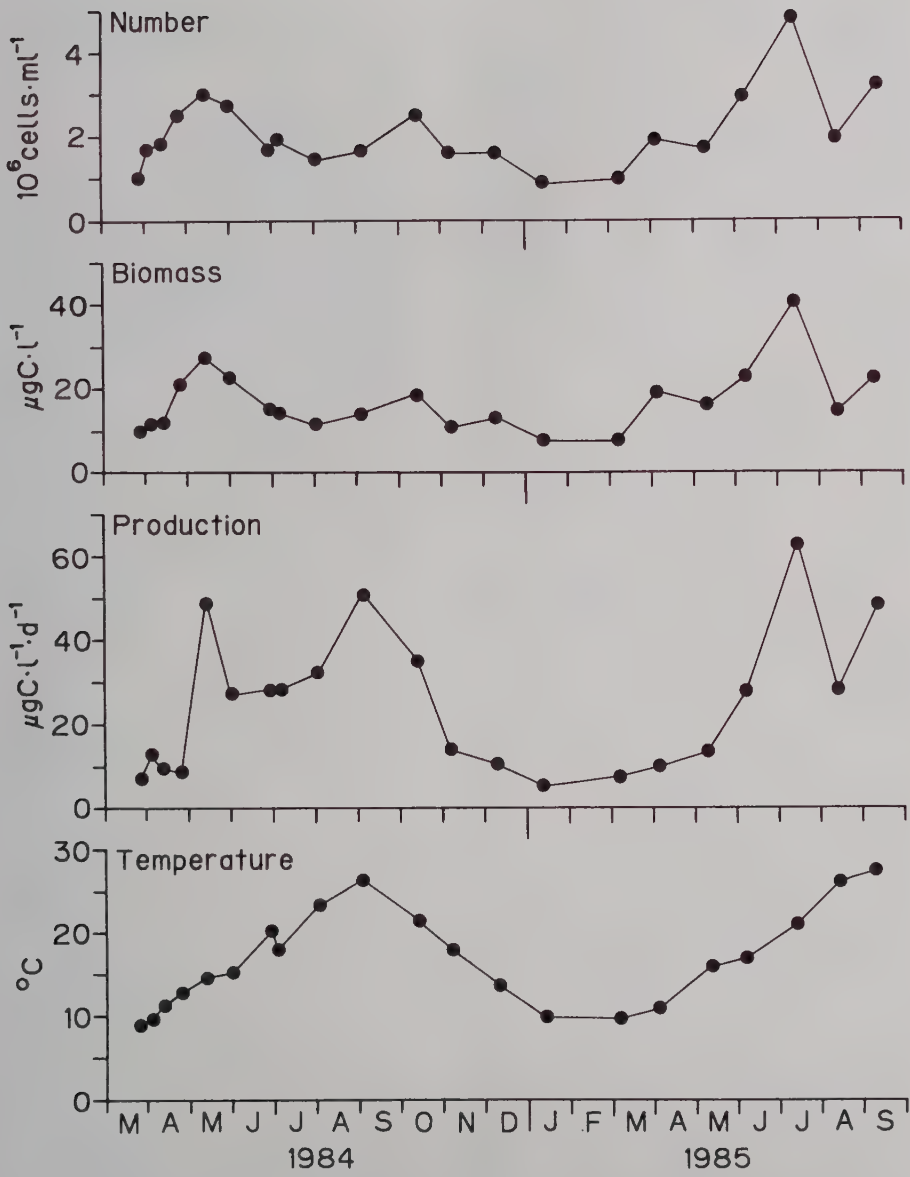


Fig.3. Seasonal variation in the number, biomass, production of bacteria, and the water temperature at 2m depth at the sampling station.

に少ない傾向が観察されている（Iwamoto *et al.* 1994)。一般的に沿岸水域においては，1×10^6～5×10^6 cells・ml^{-1}の細菌密度を示すと総説されているが（Es and Meyer-Reil 1982），Fig.3 の結果はこれに良く合致している。また総細菌数は高水温期に高い傾向があったが，米国チェサピーク湾においても同様の傾向が観察されている（Ducklow and Shiah 1993)。

各調査時の試水中の細菌の平均体積は，0.074～0.115μm^3の範囲の値（平均0.094μm^3）を示した(Table 2)。同様の方法を用いて1982年5，7，10月の周防灘における試水中の細菌の平均体積が測定されており，0.041～0.126μm^3（平均 0.098μm^3）の値が報じられている（今井 1984)。また山口県大海湾からは，0.083～0.091μm^3の細菌平均体積が得られている(Imai 1987)。細菌の平均体積の測定に関しては種々問題があるが（永田 1993a)，各地の沿岸海域からは，概ね0.05～0.15μm^3の細菌平均体積の値が報告されている（今井 1989)。

炭素量としての細菌現存量は，7.6～40.4 μgC・l^{-1}の範囲の変動を示し，細胞数の場合と同様に高水温期に多かった（Fig.3)。1982年の周防灘において3.8～25.5μgC・l^{-1}の細菌現存量が，1983年の山口県大海湾では4.8～21.1 μgC・l^{-1}の値が報告されている（今井 1984, Imai 1987)。本研究においては，細菌の現存量を算出する際に炭素量変換係数として0.087 gC・cm^{-3} (Ferguson and Rublee 1976) を用いた。この値はこれまでに報告されている値の範囲では小さい方に位置する（永田 1993a)。それゆえ，本研究で得られた細菌現存量の値は，やや過小に見積られている可能性がある。しかしながら，生物量として“少なくともこれだけ以上は存在している”という下限の目安になると考えられる。Nagata and Watanabe (1990) は，天然の細菌群集は栄養状態にかかわらず炭素量／体積の比が比較的安定しており，その結果に基づき炭素量変換係数として0.14gC・cm^{-3}の値を提案している。この値を用いるならば，細菌現存量は12.2～65.0μgC・l^{-1}（平均 27.0 μgC・l^{-1}）と見積られる。前述の，本研究と同じ場所におけるIwamoto *et al.* (1994) の細菌現存量の見積りの結果（炭素量変換係数0.12gC・cm^{-3}を使用）を参照すると，11.9～57.5μgC・l^{-1}の値が得られており，上記の値と殆ど一致している。

同じ場所で同時に実施された植物プランクトンに関する調査結果（1984年3月26日～1985年7月12日）によると，同一試料中のクロロフィルａ量は1.1～7.1μg・l^{-1} (平均 3.3μg・l^{-1}) であった (山口ほか 1995)。これに，炭素量変換係数（C／Chl.a）として40（山口・安楽 1984）を乗じて植物プランクトンの現存量を算出すると，42～283μgC・l^{-1} (平均 132μgC・l^{-1}) となる。各調査時の細菌現存量を植物プランクトン現存量と比較すると，5～31%（平均15%）に相当した（Table 2)。1982年7月と10月の周防灘における細菌現存量の植物プランクトンに対する割合は，それぞれ24%と18%と算出されている（今井 1984)。植物プランクトンに対する細菌現存量の割合は，前者が減少するに連れて高くなる傾向があるとされ，前者が25μgC・l^{-1}以下になると細菌現存量の方が大きくなるといわれている（Simon *et al.* 1992)。細菌は生物量の面からも，海域の生態系において相当に大きな比重を占めているといえよう。

細菌の生産量は，5.5～63.3μgC・l^{-1}・day^{-1}の間で著しい季節変化を示し，低水温期に小さく，高水温期に大きい傾向が明らかである（Fig. 3)。このような季節的変化の傾向は，米国チェサピーク湾においても観察されている（Ducklow and Shiah 1993)。ＦＤＣ法を用いて他の沿岸海域で測定された細菌生産量としては，春の米国ジョージア州沿岸で19～178μgC・l^{-1}・day^{-1}（Newell and Christian 1981)，夏季のバルト海沿岸において10～30μgC・l^{-1}・day^{-1} (Larsson and Hagström 1982)，9，10月のデンマークのリムフィヨルドにおいて2.6～14.5 μgC・l^{-1}・day^{-1}（Riemann *et al.* 1984)，1983年7月の周防灘で3.6～19.2μgC・l^{-1}・day^{-1} (今井 1985) の値等が報告されている。陸水域における我が国でのＦＤＣ法による測定例をみると，琵琶湖の4月～10月で9～33μgC・l^{-1}・day^{-1}(Nagata 1987)，同じく琵琶湖の2～6月で4.1～33μgC・l^{-1}・day^{-1}（Nakano 1992）の報

告等がある。水界における細菌生産量は，概ね0.4～150μgC･l^{-1}･day^{-1}の範囲にあると総説されている（Cole *et al.* 1988)。

同じ場所で同時に実施された植物プランクトンの基礎生産に関する測定結果（1984年3月26日～1985年7月12日）をみると，26～915μgC･l^{-1}･day^{-1}（平均266μgC･l^{-1}･day^{-1}）である（山口ほか 1995)。細菌生産量を基礎生産量と比べると，2.6～197％（平均26％）に相当した（Table 2)。水界における細菌生産量は，基礎生産量の約30％であると総説されており（Cole *et al.* 1988)，本研究の結果は平均的な値となった。細菌の有機物同化効率は約50％とされており（Payne 1970)，基礎生産の約半分が，広島湾では細菌を経由していることになる。細菌の増殖のための基質となる有機物は，基礎生産者による細胞外排出有機物（一般的に基礎生産の5～15％程度；Larsson and Hagström 1982，永田 1993b）のみに由来するとするならばこのことは説明が困難であり，食物網全体から捕食や排泄等を通じて有機物が供給されていると考えなければならないであろう（Jumars *et al.* 1989，永田1993b)。今後このような方面からの研究の進展が望まれる。

HMF密度と現存量

南西海区水産研究所の桟橋2m層における，1984年3月26日から1985年9月10日までの間の，HMFの細胞数と現存量の変動をFig.4に，HMFに関するデータの要約をTable 3に示した。HMF細胞数は1.0×10^3～8.8×10^3 cells･ml^{-1}の範囲で変動し，冬季の低水温期に低密度，高水温期に高密度であった。同じ場所で，1990年7月4日～1991年7月2日の間毎週1回，0m，3m，海底上1m層から採水して，同様にHMF数を調べた結果，1.01×10^3～10.0×10^3 cells･ml^{-1}の間で変動し，やはり高水温期

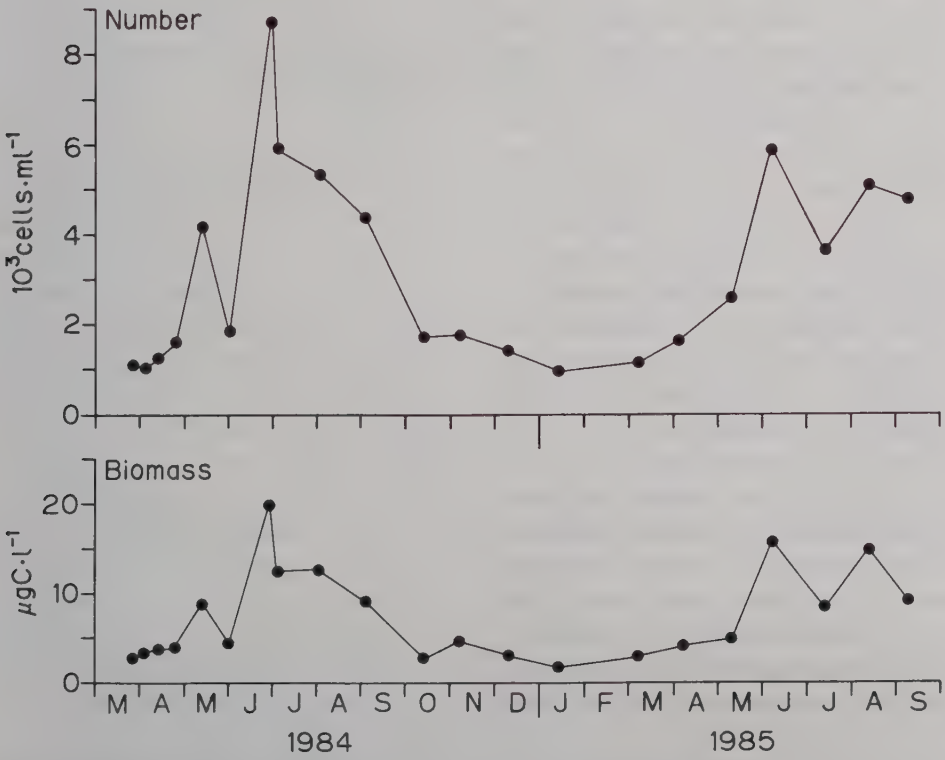


Fig.4. Seasonal variation in number and biomass of heterotrophic microflagellates (＜10μm) at 2m depth at the sampling station.

Table 3. Range and mean of data of heterotrophic microflagellates (HMF) obtained at the sampling station.

	Minimum		Maximum	Mean
Number ($\times 10^3$ cells·ml^{-1})	1.0	—	8.8	3.2
Mean volume (μm^3)	25.9	—	44.2	33.7
Biomass (μgC·l^{-1})	1.8	—	20.1	7.4
Numerical ratio (Bacteria/HMF)	193	—	1587	613
Biomass ratio (%) (HMF/Bacteria)	15	—	134	47
Grazing ratio (%) (Grazing/Bacterial growth)	15	—	162	67

に少ない傾向が観察されている（Iwamoto *et al.* 1994）。一般的に沿岸水域においては，10^3 cells·ml^{-1}のオーダーでHMFが生息していることが知られており（Fenchel 1982，今井 1989，Sanders *et al.* 1992），Fig.3の結果はこれに良く合っている。我が国沿岸水域においてもHMFの細胞密度に関するデータが蓄積されつつあり，やはり概ね10^3 cells·ml^{-1}のオーダーと報告がなされている（今井・伊藤 1984，今井 1990，岩本ほか 1993，Iwamoto *et al.* 1994，Nakamura *et al.* 1994，深見・宇野 1995）。

各調査時の試水中のHMFの平均体積は，25.9～44.2μm^3（平均33.7μm^3）の範囲であった（Table 3）。1983年5月と7月の周防灘においてHMFの平均細胞体積が測定されており，それぞれ57μm^3，29μm^{3}の値が得られている（今井・伊藤 1984，今井 1989）。

炭素量としてのHMF現存量は，1.8～20.1 μgC·l^{-1}（平均7.4μgC·l^{-1}）と見積られ，細胞数と同様に高水温期に多く低水温期に少ない傾向が明らかである（Fig.4，Table 3）。同じ場所でのIwamoto *et al.*（1994）の測定結果では，HMF現存量は5.2～51.8μgC·l^{-1}の値であった。1983年5月の周防灘では1.9～13.9μgC·l^{-1}のHMF現存量が報告されている（今井・伊藤 1984）。

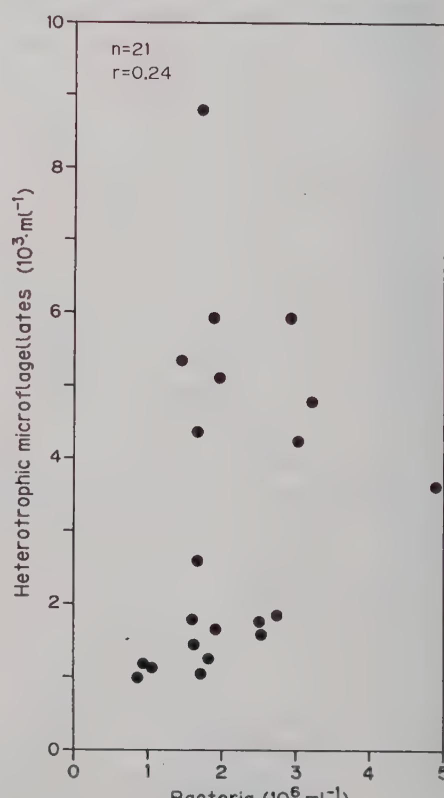


Fig.5. Relationship between the number of bacteria and heterotrophic microflagellates at 2m depth at the sampling station.

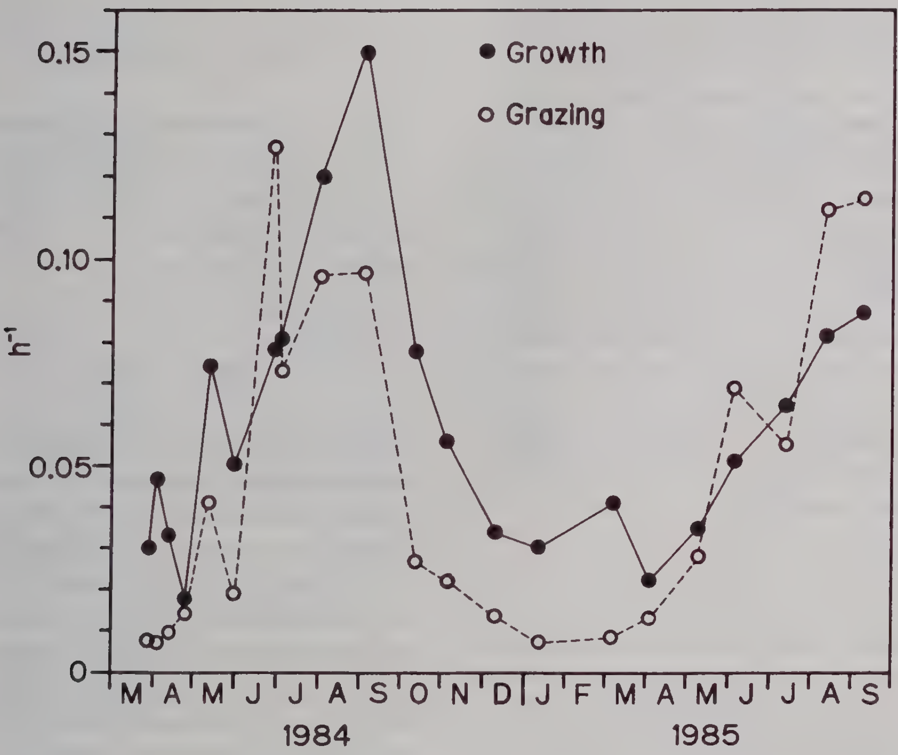


Fig.6. Seasonal changes in the growth rate of bacteria and the grazing rate on bacteria by heterotrophic microflagellates at 2m depth at the sampling station.

細菌とＨＭＦの定量的関係

各調査時の細菌細胞数とＨＭＦ細胞数との関係は，Fig.5に示した通りである。有意な関係は認められないが，ＨＭＦ１細胞当りの細菌数の比は193～1587（平均　613）の範囲にあった（Table 3）。後に同じ場所で実施された調査結果（Iwamoto *et al.* 1994）によると，この比は374～2171の変動幅を持ち，平均は881であったという。1984年５月の周防灘においては平均値として，約1000の値が報告されている（今井・伊藤 1984)。種々の水界におけるＨＭＦ数と細菌数の計測データを取りまとめ，Sanders *et al.* (1992) は上述の比が概ね1000の周辺であると報じている。

細菌現存量に対するＨＭＦ現存量の比（%）は，15～134%の範囲（平均47%）であった（Table 3)。1983年５月の周防灘において，この比の平均値が50%であったと報告されている（今井・伊藤 1984)。現存量でみるとＨＭＦは細菌の約半分程度を占めており，量的に重要な生物群であることがわかる。また，餌である細菌が現存量として捕食者に対し少なく感じられるが，高い増殖速度（生産量）を考慮するならばあるいは説明が可能かもしれない。

Fig.6に，細菌群集の増殖速度と，ＨＭＦによる細菌の捕食速度を示した。細菌の増殖速度は $0.018 \cdot h^{-1}$～$0.150 \cdot h^{-1}$（平均 $0.060 \cdot h^{-1}$）であり（Table 2)，夏季の高水温期に高く冬季の低水温期に低いという顕著な季節変動が認められた。ＨＭＦによる細菌の捕食速度は，0.007～$0.127 \cdot h^{-1}$の範囲と試算され，やはり冬に小さく夏に大きいという著しい季節変化がみられた。次に，細菌の増殖速度に対する，ＨＭＦによる細菌捕食速度の比 (grazing／growth：%)

を計算したところ，15～162%（平均67%）であり，細菌の増殖速度と被捕食速度は割合によく釣り合っているという結果になった。McManus and Fuhrman (1988) や Sanders *et al.* (1992) の総説によると，水界の生態系において細菌の増殖と被捕食(おもにＨＭＦによる)は概ね釣り合っているという。特に夏季には細菌の増殖速度は非常に高いのにもかかわらず，細菌の密度自体はオーダーが変わる程には極端に変化しないのは，その時期にこのように高い捕食圧がかかっており，動的平衡状態が成立している結果と考えられる。現場海域においては，このように細菌は活発に増殖し，一方で高い速度で捕食されており，低次生物生産過程を通じての物質循環は，相当に高い速度で展開しているものと想像される。

摘　　要

1984年３月26日から1985年９月10日の間，北部広島湾に位置する南西海区水産研究所の桟橋の２m層において，海洋細菌の現存量，生産量，ならびに従属栄養性微小鞭毛虫類の季節変化を調べた。

細菌の増殖速度を知るためＦＤＣ法を検討し，10～25℃の各温度におけるＦＤＣ（細胞分裂頻度，%）と増殖速度（μ）との関係式を得た。これにより，周年にわたる細菌のμの測定が可能になった。

総細菌数をDAPI染色と落射蛍光顕微鏡による直接検鏡法によって調べた結果，0.9×10^6～4.8×10^6 cells・ml^{-1}（平均 2.1×10^6 cells・ml^{-1}）の密度変化を示した。画像解析によって求めた試水中の細菌の平均体積は，0.074～0.115μm^3（平均0.094μm^3）であった。炭素量としての細菌現存量は7.6～40.4μgC・l^{-1}（平均16.8μgC・l^{-1}）と見積られた。細菌の生産量は，5.5～63.3μgC・l^{-1}・day^{-1}（平均 24.7μgC・l^{-1}・day^{-1}）の範囲で変動し，基礎生産量の平均26%であった。細胞密度，現存量，および生産量は，高水温期に高く低水温期に低いという顕著な季節性が認められた。

細菌捕食者のＨＭＦは，細胞数で1.0×10^3～8.8×10^3 cells・ml^{-1}（平均 3.2×10^3 cells・ml^{-1}），現存量で1.8～20.1μgC・l^{-1}（平均 7.4μgC・l^{-1}）で変動し，やはり高水温期に多く低水温期に少なかった。

ＨＭＦによる細菌の捕食速度は，夏季に高く冬季に低い傾向があった。細菌の増殖速度（μ）に対するＨＭＦの細菌捕食速度の比（%）は，15～162%（平均67%）と算出され，細菌の増殖と被捕食は動的な平衡状態にあるものと考えられた。

謝　　辞

本研究に対し有益なご助言と激励を賜った，元南西海区水産研究所赤潮部長の安楽正照博士（現在海外漁業協力財団）ならびに同所元赤潮生物研究室長の伊藤克彦博士(現在養殖研究所)に，深く感謝の意を表します。本研究は，科学技術庁振興調整費による「海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究」，および環境庁の国立機関公害防止等試験研究費による「潮間帯周辺海域における浄化機能と生物生産に関する研究」の一部として実施したものである。

文　　献

Andersen, P. and T. Fenchel, 1985: Bacterivory by microheterotrophic flagellates in seawater samples. *Limnol. Oceanogr.*, **30**, 198-202.

Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.-A. Meyer-Reil and F. Thingstad, 1983: The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**, 257-263.

Cole, J.J., S. Findlay and M.L. Pace, 1988: Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 43, 1-10.

Ducklow, H.W. and F.K. Shiah, 1993: Bacterial production in estuaries. In "Aquatic Microbiology-An ecological approach" (ed. by Ford, T.E.), Blackwell Sci. Publ., Oxford, 261-287.

Es, F.B.van and L.-A. Meyer-Reil, 1982: Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. In "Advances in microbial Ecology vol. 6" (ed. by Marshall, K.C.), Plenum Press, New York, 111-170.

Fenchel, T., 1982: Ecology of heterotrophic microflagellates. IV. Quantitative occurrence and

importance as bacterial consumers. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **9**, 35-42.

Fenchel, T., 1987: Ecology of Protozoa : The biology of free-living phagotrophic protists. Sci. Tech. Publishers.

Ferguson, R.L. and P. Rublee, 1976: Contribution of bacteria to standing crop of coastal plankton. *Limnol. Oceanogr.*, **21**, 141-145.

Fuhrman, J.A. and F. Azam, 1980: Bacterioplankton secondary production estimates for coastal water of British Columbia, Antarctica and California. *Appl. environ. Microbiol.*, **39**, 1085-1095.

深見公雄・宇野　潔，1995：土佐湾の沿岸フロントおよび黒潮フロント海域における細菌ならびに細菌捕食性鞭毛虫の分布と変動．沿岸海洋研究ノート，**33**，29−38.

Hagström, A. and U. Larsson, 1984: Diel and seasonal variation in growth rates of pelagic bacteria. In " Heterotrophic activity in the sea" (ed. by Hobbie, J.E. and P.J.LeB. Williams), Plenum Press, New York, 249-262.

Hagström, A., U. Larsson, P. Horstedt and S. Normark, 1979: Frequency of dividing cells, a new approach to the determination of bacterial growth rates in aquatic environments. *Appl. environ. Microbiol.*, **37**, 805-812.

今井一郎，1984：周防灘における海洋細菌の粒子径組成と現存量．南西水研研報，**17**，183-196.

今井一郎，1985：微生物の動態．海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究（第Ｉ期）成果報告書．科学技術庁研究調整局，233-236.

Imai, I., 1987: Size distribution, number and biomass of bacteria in intertidal sediments and seawater of Ohmi Bay, Japan. *Bull. Jpn. Soc. microb. Ecol.*, **2**, 1-11.

今井一郎，1989：沿岸域における微生物の生態．沿岸海洋研究ノート，**27**，85-101.

今井一郎, 1990： 海洋における従属栄養性微小鞭毛虫類の細菌捕食者としての役割．月刊海洋，**22**, 60-66.

今井一郎・伊藤克彦，1984：1983年５月周防灘における従属栄養性微小鞭毛虫類の分布．南西水研研報，**17**，219-233.

Ishida, Y., K. Shibahara, H. Uchida and H. Kadota, 1980: Distribution of obligately oligotrophic bacteria in Lake Biwa. *Bull. Jpn. Soc. sci. Fish.*, **46**, 1151-1158.

岩本典子・今井一郎・上　真一，1993：夏季の広島湾における細菌と従属栄養性微小鞭毛虫類の出現密度の変動. 日本プランクトン学会報, **40**, 55-66.

Iwamoto, N., I. Imai and S. Uye, 1994: Seasonal fluctuation in abundance of bacteria, heterotrophic nanoflagellates, autotrophic nanoflagellates and nanodiatoms in Hiroshima Bay, the Inland Sea of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **41**, 31-42.

Jumars, P.A., D.L. Penry, J.A. Baross, M.J. Perry and B.W. Frost, 1989: Closing the microbial loop: dissolved carbon pathway to heterotrophic bacteria from incomplete ingestion, digestion and absorption in animals. *Deep-Sea Res.*, **36**, 483-495.

木暮一啓，1990：生産速度．沿岸環境調査マニュアルII［水質微生物編］，日本海洋学会編，恒星社厚生閣，288-294.

木暮一啓，1994a: 微生物を介した物質循環．現代の水産学，日本水産学会出版委員会編，恒星社厚生閣，181-190.

木暮一啓，1994b: チミジン物語．微生物の生態19－物質循環における微生物の役割，日本微生物生態学会編，学会出版センター，73-89.

Larsson, U. and A. Hagström, 1982: Fractionated phytoplankton primary production, exudate release and bacterial production in a Baltic eutrophication gradient. *Mar. Biol.*, **67**, 57-70.

McManus, G.B. and J.A. Fuhrman, 1988: Control of marine bacterioplankton populations: measurement and significance of grazing. *Hydrobiologia*, **159**: 51-62.

Nagata, T., 1987: Production rate of planktonic bacteria in the north basion of Lake Biwa, Japan. *Appl. environ. Microbiol.*, **53**, 2872-2882.

Nagata, T., 1988: Seasonal abundance, grazing impacts on bacteria, and vertical distribution of heterotrophic microflagellates in the south basin of Lake Biwa. *Jpn. J. Limnol.*, **49**, 167-174.

永田　俊，1993a： 浮遊性細菌の炭素現存量－測定方法の諸問題－．日本微生物生態学会報，**8**，49-58.

永田　俊，1993b： 微生物ループと水圏物質循環－溶存有機物の生成と分解をめぐって－．日本微生物生態学会報，**8**，149-155.

Nagata, T. and Y. Watanabe, 1990: Carbon-and nitrogen-to-volume ratios of bacterioplankton grown under different nutritional conditions. *Appl. environ. Microbiol.*, **56**, 1303-1309.

Nakamura, Y., K. Fukami, S. Sasaki and J. Hiromi, 1994: Population dynamics of bacteria and heterotrophic nanoflagellates following the summer diatom bloom in the Seto Inland Sea. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **41**, 1-8.

Nakano, S., 1992: Changes in bacterioplankton production and dominant algal species in the north basin of Lake Biwa. *Jpn. J. Lomnol*, **53**, 145-149.

Newell, S.Y. and R.R. Christian, 1981: Frequency of dividing cells as an estimator of bacterial productivity. *Appl. environ. Microbiol.*, **42**, 23-31.

Payne, W.J., 1970: Energy yields and growth of heterotrophs. *Ann. Rev. Microbiol.*, **24**, 17-52.

Porter, K.G. and Y.S. Feig, 1980: The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 943-948.

Rieman, B., P. Nielsen, M. Jeppesen, B. Marcussen and J.A. Fuhrman, 1984: Diel changes in bacterial biomass and growth rates in coastal environments, determined by means of thymidine incorporation into DNA, frequency of dividing cells (FDC), and microautoradiography. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **17**, 227-235.

Sanders, R.W., D.A. Caron and U.-G. Berninger, 1992: Relationships between bacteria and heterotrophic nanoplankton in marine and fresh waters: an inter-ecosystem comparison. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **86**, 1-14.

Sherr, B. and E. Sherr, 1983a: Enumeration of heterotrophic microprotozoa by epifluorescence microscopy. *Est. coast. Shelf Sci.*, **16**, 1-7.

Sherr, E.B. and B.F. Sherr, 1983b: Double-staining epifluorescence technique to assess frequency of dividing cells and bacteriovory in natural populations of heterotrophic microprotozoa. *Appl. environ. Microbiol.*, **46**, 1388-1393.

Sherr, E.B., B.F. Sherr and G.A. Paffenhofer, 1986: Phagotrophic protozoa as food for metazoans: a "missing" trophic link in marine pelagic food webs ? *Mar. microb. Food Webs*, **1**, 61-80.

Simon, M., B.C. Cho and F. Azam, 1992. Significance of bacterial biomass in lakes and the ocean: comparison to phytoplankton biomass and biogeochemical implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **86**, 103-110.

Sorokin, Yu.I., 1979: Zooflagellates as a component of the community of eutrophic and oligotrophic waters in the Pacific Ocean. *Oceanology*, **19**, 316-319.

谷口　旭，1990a：微小動物プランクトン研究の歴史と将来の展望(I)．月刊海洋，**22**，3-9．

谷口　旭，1990b：微小動物プランクトン研究の歴史と将来の展望(II)．月刊海洋，**22**，55-59．

山口峰生・安楽正照，1984：瀬戸内海西部周防灘における基礎生産について．南西水研研報，**17**，135-149．

山口峰生・今井一郎・松尾　豊，1995：広島湾における植物プランクトンの現存量と光合成速度の季節変化．南西水研研報，**28**，63-72．

Zimmermann, R., R. Iturriaga and J. Becker-Birck, 1978: Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration. *Appl. environ. Microbiol.*, **36**, 926-935.

1995年12月12日受理（Accepted on December 12, 1995）
南西海区水産研究所業績A第47号（Contribution No.A47 from the Nansei National Fisheries Research Institute）
今井一郎：京都大学農学部熱帯農学専攻　〒606-01 京都市左京区北白川追分町（I. Imai: Division of Tropical Agriculture, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606-01, Japan）
山口峰生：南西海区水産研究所赤潮環境部　〒739-04 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5（M. Yamaguchi: Red Tide Research Division, Nansei National Fisheries Research Institute, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan）

南西水研研報 (Bull. Nansei Natl. Fish. Res. Inst.), No.29 : 87-100 (1996)

大阪湾の底質環境とメイオベントスの分布

辻野　睦・玉井恭一

Sediment Conditions and Meiobenthic Community in Osaka Bay, Japan

Mutsumi Tsujino and Kyoichi Tamai

The relationship between the meiobenthic community structure and eutrophication of the bottom sediment was investigated at 18 stations in Osaka Bay in April and September 1994. As a common feature in April and September, the ignition loss and total organic carbon and total sulphide contents of bottom sediments increased towards the coast. The total nitrogen contents of bottom sediments was high in the center of the Bay. However the dissolved oxygen of the bottom water was depleted at the near-shore stations only in September.

The average numerical abundance of meiobenthos was 639 individuals/10cm^2 in April and 445 individuals/10cm^2 in September. As meiobenthic components, nematodes were the most abundant and occupied 79.3 and 86.1% of the total meiobenthos in April and September, respectively; followed by harpacticoid copepods (6.9 and 2.2%) and polychaetes (0.8 and 3.6%). These three animal groups were found to be concentrated in the top 2cm of the bottom sediments at all stations. The abundance of nematodes did not differ significantly between April and September. Harpacticoids were more numerous in April than in September. As a horizontal pattern, harpacticoids were more abundant along the coast than in the center of the Bay in April, but the reverse was the case in September. The differences in horizontal distribution patterns seen in the three animal groups are considered to reflect the group-specific tolerance against decreases of dissolved oxygen levels. The nematode/copepod ratios tended to increase with decreasing dissolved oxygen down to 2ppm. It is suggested that a high nematode/copepod ratio is associated with low dissolved oxygen and the deterioration of sediment conditions.

Key words: Meiobenthos, Sediment conditions, Dissolved oxygen, Nematode/Copepod ratio, Osaka Bay

メイオベントスは海洋底質中に高密度に生息し，底質の物質循環においてバクテリアやデトライタスの摂食者(Montagna 1984, Escaravage *et al.* 1989)，マクロベントスの被食者として(Bell 1980)重要な役割を担っている動物群である。また，メイオベントスを構成する各動物群の環境に対する特異性から，メイオベントスを用いた環境評価手法の研究が行われており，そのほとんどが線虫類(Nematode)と橈脚類(Copepod)の生息密度の比であるN/C比について論議されたものである(Coull *et al.* 1981, Raffaelli 1981 1987, Raffaelli and Mason 1981, Warwick 1981, Amjad and Gray 1983, Lambshead 1984, Shiells and Anderson 1985)。しかし，日本の近海におけるメイオベントス群集の報告は，深海や沿岸のごく一部に限られ，メイオベントスと底質環境の関係に関する研究も少ない。本研究では日本の主要な内湾におけるメイオベントスの分布を明らかにするとともに，メイオベントスを用いた環境評価手法の開

発を行うため，日本有数の大都市を抱え富栄養化の進行が著しい大阪湾においてメイオベントスの調査を実施したので報告する。

材料と方法

大阪湾の湾中央部から沿岸に向かって放射状になるように18定点を設定し（Fig.1），1994年4月14～20日および9月2～8日に南西海区水産研究所所属の調査船しらふじ丸で調査を行った。採泥にはkk式コア採泥器を用い（木俣 他 1960)，内径4.0cmのコアで1定点につき6本採泥した。1本は泥分率測定，2本は全硫化物濃度(TS)，強熱減量(IL)，全有機炭素量(TOC)，全窒素量(TN)の分析に用い，3本はメイオベントス用試料とした。定点XO，B1，B2，B3，B4，B5については表層0～5cmまでを1cm毎の各層に切り分け，その他の定点については0～2cmと2～5cmの上下2層に分けて試料とした。泥分率は粒径63μm以下の粒子の重量百分率として求めた。TSは検知管法により，採泥後5，6時間以内に測定した。ILは550℃で6時間燃焼して測定した。TOC，TNは試料を乾燥させた後，塩酸処理をして(Hedges and Stern 1984)，CHNコーダ(柳本MT-5型)によって測定した。水温，塩分はCTDで，溶存酸素量(DO)はニスキン採水器で海底から1m上層の海水を採取してウインクラー法によって測定した。メイオベントス用の試料は採泥後直ちに5％ホルマリンで固定，ローズベンガルで染色して保管した。この試料をかき混ぜ法（山西 1979）によって，目合40μm，63μm，125μmおよび1000μmの篩分けを行い，1000μmの目を通過し40μmの目に残るベントスをメイオベントスとして抽出した。さらに，それを実体顕微鏡下で線虫類，多毛類，ハルパクチクス類，その他の動物群に分けて計数した。

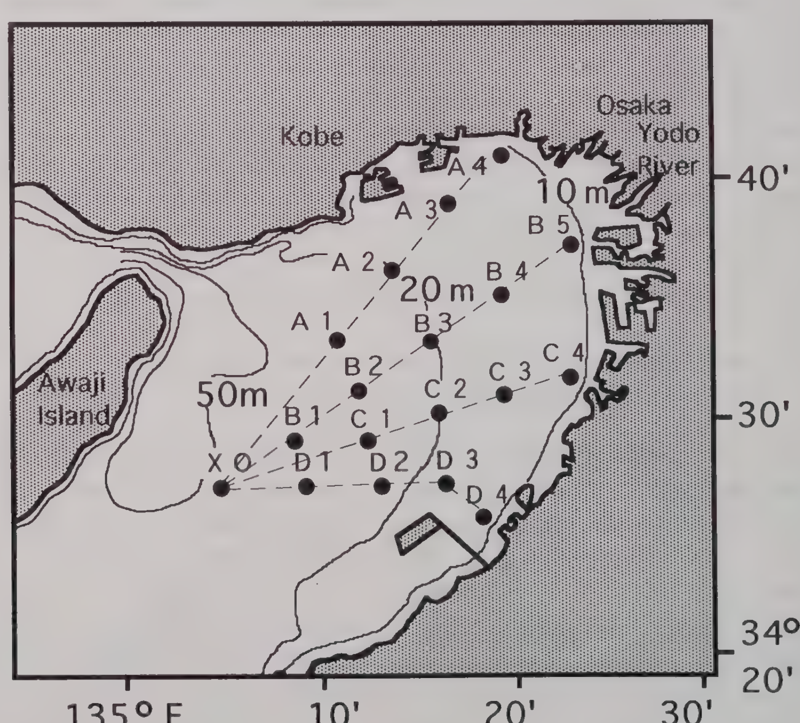


Fig.1. Sampling stations in Osaka Bay.

結　　果

1．環境項目

1）水平分布　4月と9月の環境項目について，Table 1に全定点の平均値，および各定点の測定値の時期的な差の有無をWilcoxon検定法(Snedecor and Cochran 1967)によって検討した結果を示した。また，定泥0－5cmの各環境項目の平均値の水平分布をFig.2a，2bに示した。底泥のTOC，TNは時期的な差が認められなかったが，IL，TSは9月に上昇し，DOは低下した。底層水のDOは，4月では湾奥で6 ppm程度とやや低かったが，沖合ほど上昇し，8 ppm以上の飽和状態であった。しかし，9月では湾奥で著しく貧酸素化し，最も湾奥の定点A4では無酸素であった。沖合の定点でも4.4～5.2ppmで酸素飽和度は70～80％であった。泥分率は両月とも水深20m以浅のほとんどの地点で90％以上であったが，20m以深域の一部で24～50％の値となる定点があった。しかし，最も沖合の定点XOでは80％以上と高かった。TSは，4月に1.0mg/g乾泥以上となったのは湾奥の数定点だけであり，沖合ほど低下し定点B1，D1では0.1mg/g乾泥以下を示した。最も沖合の定点XOでは0.93mg/g乾泥で周辺の定点に比べ特異的に高かった。9月にはほとんどの定点で上昇し，最も湾奥の定点A4では4月の1.8倍の1.84mg/g乾泥となった。底質の有機物量の目安であるILは，4月に10％以上になったのは沿岸の数点だけであるのに対し，9月には水深20m以浅の定点のほとんどで10％以上となった。しかし湾東部の沿岸の定点C4だけは2％と低かった。また，ILは沖合

Tabl 1. Environmental parameters, density of nematodes, harpacticoids, polychaetes and others, and the nematode/copepod ratio for the top 5cm of sediments in Osaka Bay. DO: dissolved oxygen, IL: ignition loss, TS: total sulphide, TOC: total organic carbon, TN: total nitrogen, N/C: Nematode/Copepod (Harpacticoid). Figures in parentheses denote the percentage of the total. NS: not significant.

	Months		
	Apr. Mean±S.D.	Sep. Mean±S.D.(n=18)	Wilcoxon rank-test
Environmental parameters			
DO(ppm)	7.67±0.69	3.70±1.67	$p<0.01$
IL(%)	8.15±1.84	8.69±2.42	$p<0.05$
TS(mg/g dry sediment)	0.52±0.42	0.61±0.44	$p<0.05$
TOC(mg/g dry sediment)	16.24±4.25	15.34±4.90	NS
TN(mg/g dry sediment)	1.79±0.51	1.87±0.61	NS
Animal groups(No./10cm²)			
Nematodes	507±390	383±265	NS
	(79.3)	(86.1)	
Harpacticoids	44±24	10±8	$p<0.01$
	(6.9)	(2.2)	
Polychaetes	5±3	16±20	$p<0.01$
	(0.8)	(3.6)	
Others	83±39	36±24	$p<0.01$
	(13.0)	(8.1)	
Total meiobenthos	639±371	445±265	NS
N/C	11	38	

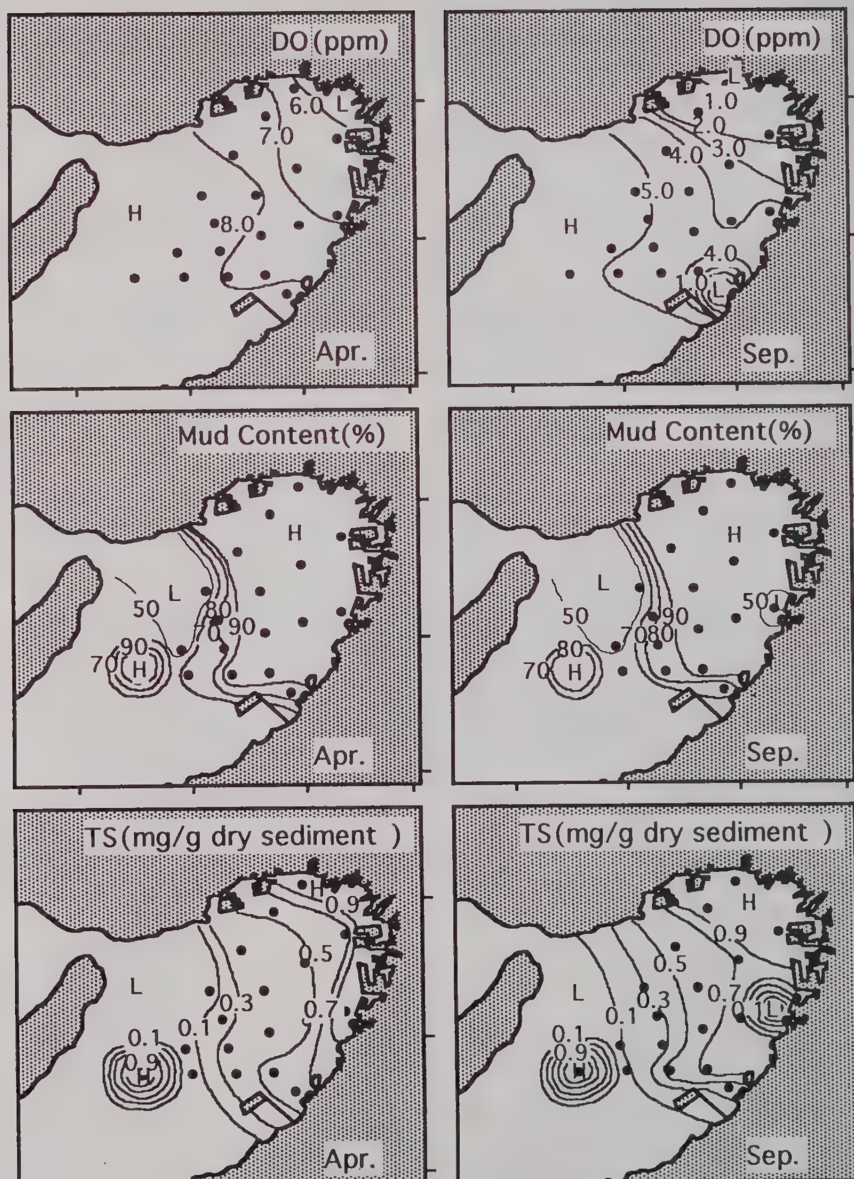


Fig.2a. Horizontal distribution in Osaka Bay of dissolved oxygen (DO) 1m above the bottom, mud content and total sulphide (TS) in the top 5cm of the bottom sediment in April (left) and September (right) 1994.

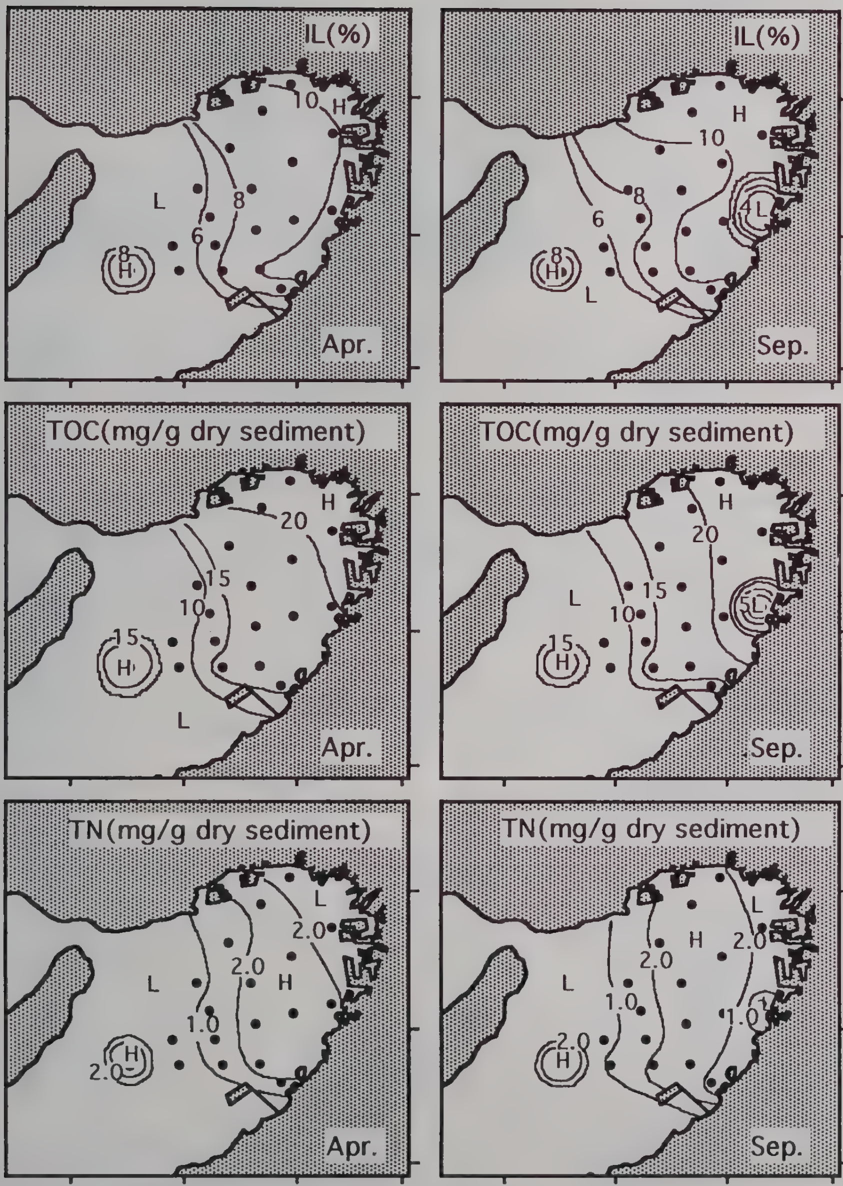


Fig.2b. Horizontal distribution in Osaka Bay of ignition loss (IL), total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) in the top 5cm of the bottom sediment in April (left) and September (right) 1994.

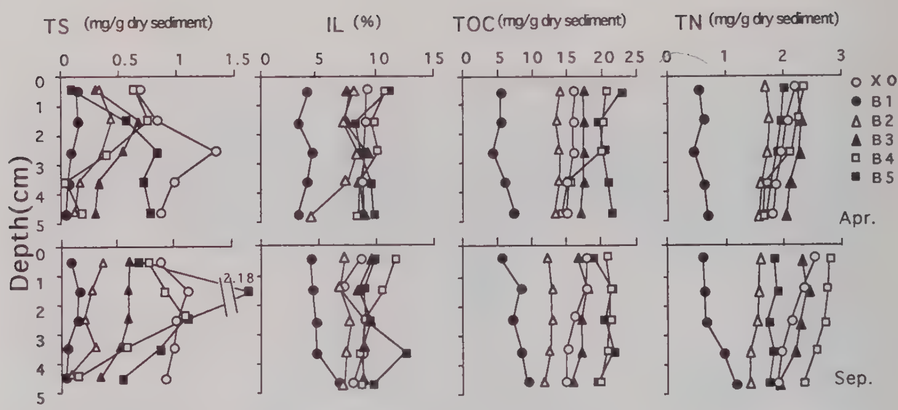


Fig.3. Vertical distribution pattern of total sulphide (TS), ignition loss (IL), total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) in the top 5cm of the bottom sediment at XO, B1, B2, B3, B4, B5 stations in April (upper) and September (lower) 1994.

ほど低下したが，定点XOは両月ともに８％以上と高かった。TOCもILと同じ傾向を示し，４月に20mg/g乾泥以上になったのは沿岸の3定点であったのに対し，９月には４定点となった。TNは両月とも湾奥と沖合20m以深の定点は2.0mg/g乾泥以下と低く，その中間の水深10mから20mまでの定点および最も沖合の定点XOでは2.0mg/g乾泥以上と高かった。

2）鉛直分布　湾中央部から湾奥に向かう6定点XO～B5についてTS，IL，TOC，TNの表層0－5cmの鉛直分布をFig.3に示した。TSは4月，9月ともに湾中央部の定点B1, B2, B3では上層から下層へ緩やかに低下し，層別の差が小さかった。さらに湾奥の定点B4，B5および最も沖合の定点XOでは層別の変化が大きく，1－2cmあるいは2－3cmに最高値があった。また，定点B3，B4，B5，XOでは9月の上層の濃度が４月の値に比べて上昇した。ILは，４月の定点B2では4－5cm層が低く，９月のB4では下層ほど低下し，B5では3－4cm層が高かったが，その他の定点では両月とも上層から下層までほぼ均一な分布を示した。TOCは，4月の定点B4では下層で低下したが，その他の定点では4月，9月ともに上層から下層までほぼ均一な分布を示した。TNは両月とも全層で大きな違いはないが，定点B1では下層ほど上昇し，その他の定点では下層になるにつれて徐々に低下する傾向があった。

２．メイオベントス

1）水平分布　４月と９月におけるメイオベントスの３動物群について，Table 1に全定点の平均生息密度，および各定点の生息密度の時期的な差の有無についてWilcoxon検定法（Snedecor and Cochran 1967）によって検討した結果を示した。また底泥0－5cmまでの生息密度の水平分布をFig.4に示した。４月および9月のメイオベントスの生息密度はそれぞれ639個体／10cm^{2}と445個体／10cm^{2}であり，有意な差は認められなかった。その中で線虫類は4月には79.3%，９月には86.1%を占め，ハルパクチクス類はそれぞれ6.9%と2.2%を構成していた。また，多毛類は4月には0.8%，9月には3.6%を占めた。メイオベントスの３動物群の中で線虫類については，両月の間で有意な差が認められなかったが，ハルパクチクス類と多毛類については差が認められ，ハルパクチクス類は９月に低下したが多毛類は上昇した。また，N/C比は，４月が11.5，９月が38.3であった。

メイオベントスの生息密度の水平分布は，４月には湾南部の定点B1，C1，D1，D3においては他の定点に比べ幾分高く，９月にはA1，B2，C1，D2の20m以深30m以浅の定点で高かった。線虫類の分布は，４月，９月ともに湾中央部に

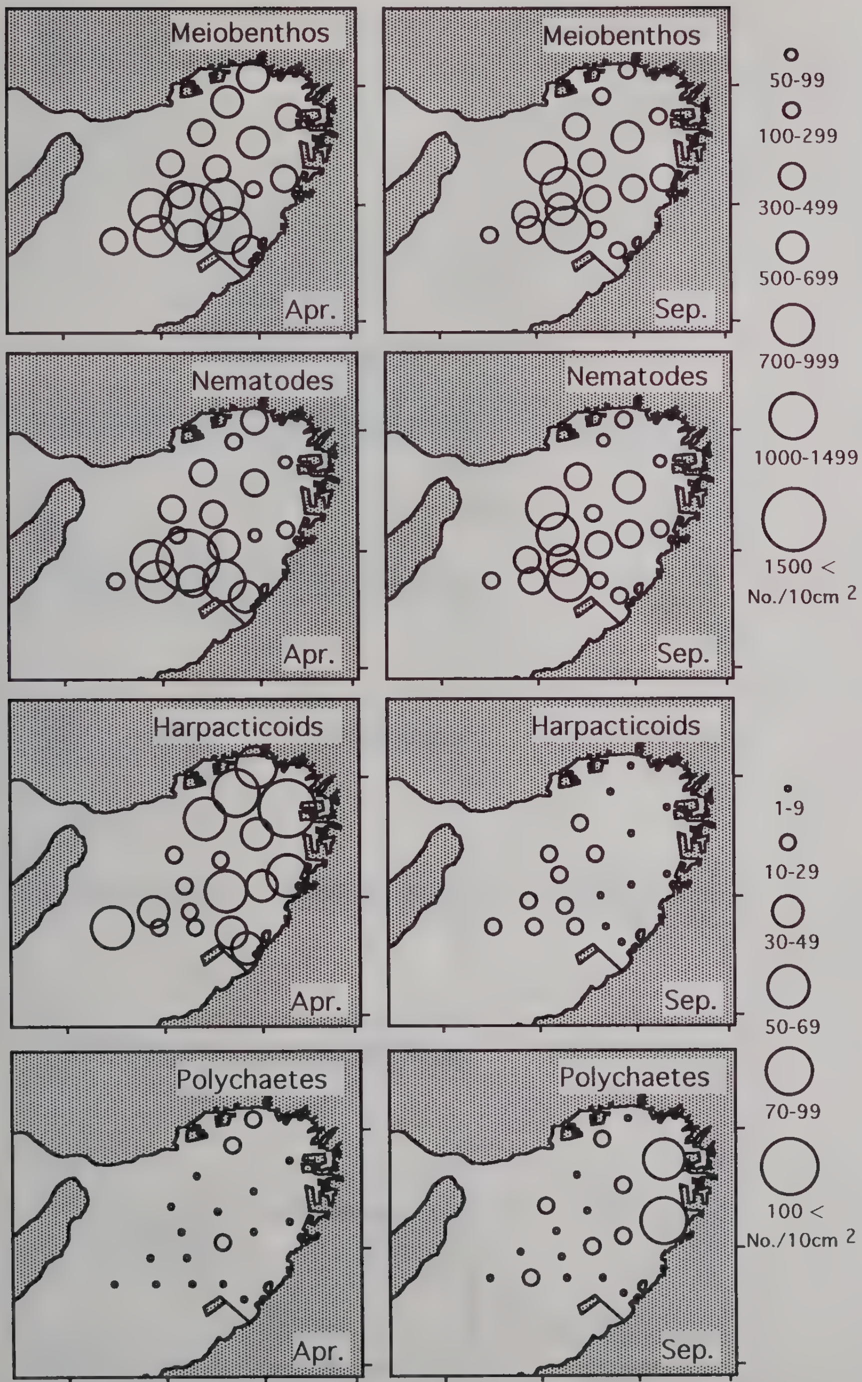


Fig.4. Horizontal distribution and abundance of meiobenthos and its components including nematodes, harpacticoids and polychaetes in the top 5cm of the bottom sediment in Osaka Bay, investigated in April (left) and September (right) 1994. Note the change of scale for the lower two sets of figures.

多く分布し，9月には湾奥や東部の沿岸部でその生息密度が減少した。ハルパクチクス類の生息密度は，4月には沖合から沿岸に近づくにつれて高くなり，9月には4月とは逆に沿岸よりも沖合の定点で高い傾向にあった。多毛類の分布は4月には定点間の違いはないが，9月には沖合よりも沿岸で高い傾向があり，中でもXO～B5，XO～C4のラインでは沖合から沿岸の定点に近づくにつれて生息密度が増加した。しかし，XO～A4のラインは湾奥の定点A4で最も減少した。

2）鉛直分布 XOからB5の定点における底泥0－5cmの3動物群の鉛直分布をFig.5に示した。線虫類はどの定点においても0－2cm層の間に全層の出現数の90%以上が分布し，2cm以下の層では極端に減少した。ハルパクチクス類は

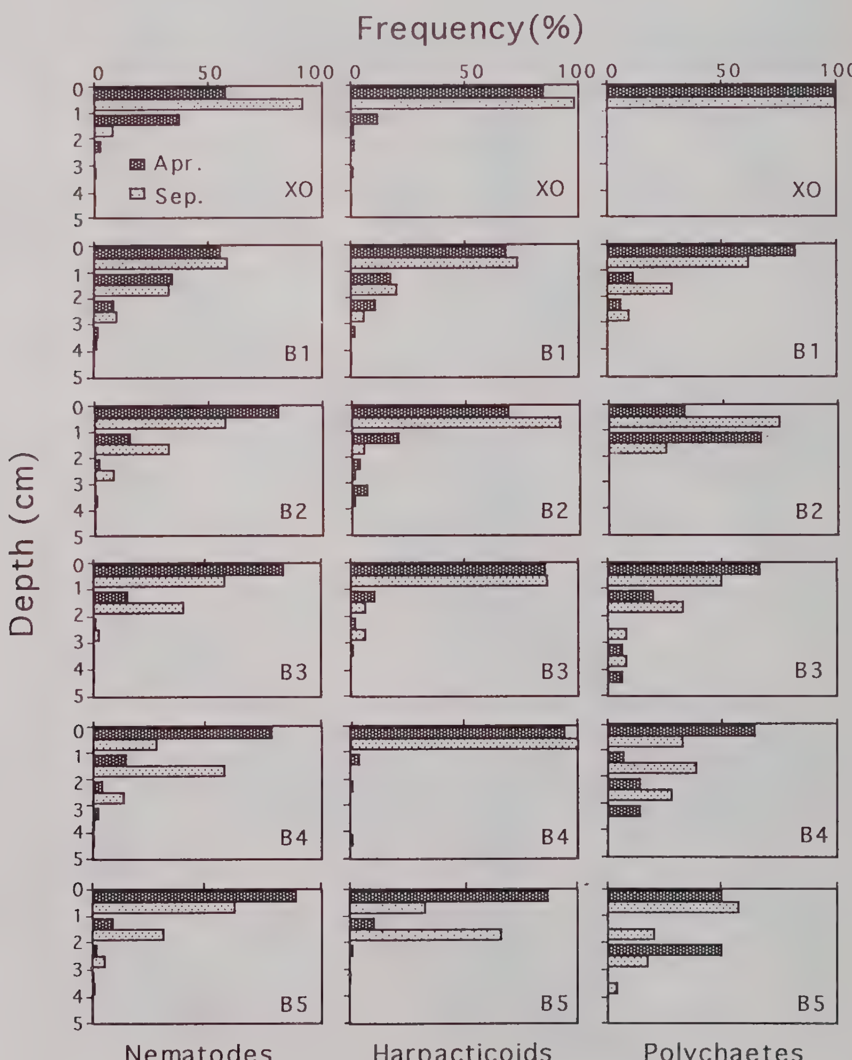


Fig.5. Vertical distribution pattern of the relative numerical abundance (percent) of nematodes, harpacticoids, and polychaetes in the top 5cm of the bottom sediment at XO, B1, B2, B3, B4, B5 stations in April and September 1994.

B1, B2の泥分率の低い定点ではやや下層まで生息したが，その他の定点では80％以上が0－1cmに分布し，3cm以下の層にはほとんど生息しなかった。多毛類はほとんどの定点で50％以上が0－1cm層に分布し，下層ほど低下して，ハルパクチクス類と同様に3cm以下の層にはほとんど生息しなかった。どの動物群も両時期の分布の違いはみられなかった。

3）N/C比の分布　沖合の湾中央部から沿岸へ向かうXO～A4, XO～B5, XO～C4, XO～D4の4つのライン上におけるN/C比の変化をFig.6に示した。4月ではXOからC4のライン上の定点C1でN/C比129.6の高い値を示したが，他の3つのラインのN/C比の変化は横這いで，50を越えることはなかった。4月のN/C比と沖合から沿岸へ向かう定点番号との間の回帰直線を求めt検定を行った結果，傾き0は棄却できず($p>0.1$)，沖合と沿岸との間にN/C比の一定の変化は認められなかった。9月ではどの直線においても沖合よりも沿岸部で高い値が見られ，水深20m以浅の定点のほとんどが50を越える値を示した。4月と同様に回帰直線による検定を行った結果，傾き0は棄却され($p<0.05$)，沿岸に向かって高くなる傾向が示された。

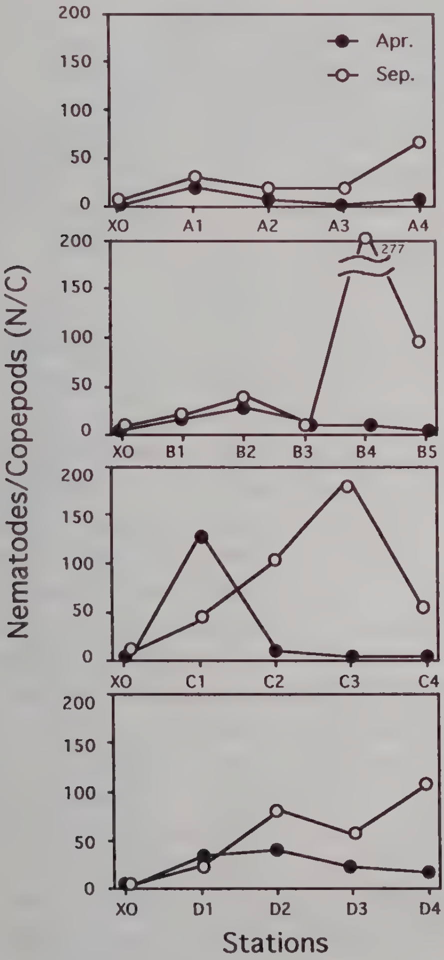


Fig.6. Horizontal changes in the nematode/copepod (harpacticoid) ratios along the four transects (XO～A4, XO～B5, XO～C4, XO～D4, see Fig.1) in Osaka Bay investigated in April and September 1994.

4）環境要因と動物群の関係　4月と9月において底質の状態を現す泥分率, TS, IL, TOC, TNの5つの環境要因について環境要因相互間の相関係数をTable 2に示した。TSと各環境要因相互間でやや低かったほかは，0.8以上の高い値が認められた。またこの結果をもとに相関行列を用いた主成分分析を行うと，4月，9月のそれぞれの第一主成分（Z1）は

$$Z1=0.4557X_{MUD}+0.4834X_{IL}+0.3357X_{TS}+0.4749X_{TOC}+0.4694X_{TN}$$（4月）

Table 2. Correlation matrix between the environmental parameters of sediments investigated at eighteen stations in April (upper of each compartment) and September (lower) in Osaka Bay. IL: ignition loss, TS: total sulphide, TOC: total organic carbon. TN: total nitrogen. ＊Significant p=0.05(*), 0.01(**) or 0.001(***) level. Not significant(NS)

	Mud Contend	IL	TS	TOC	TN
Mud Content		0.8956*** 0.8891***	0.4490NS 0.6421**	0.8863*** 0.9136***	0.8963*** 0.9304***
IL			0.6628** 0.7673***	0.9442*** 0.9314***	0.9224*** 0.8876***
TS				0.5803* 0.8017***	0.5313* 0.6852**
TOC					0.9169*** 0.9435***
TN					

$Z1 = 0.4500X_{MUD} + 0.4590X_{IL} + 0.3951X_{TS} + 0.4707X_{TOC} + 0.4571X_{TN}$ （9月）

と表され，その固有値は4.1279と4.3712でともに全体の情報の80%以上が集約された。項目の係数は両時期の全てで0.3以上の値を示した。これらのことからZ1は底泥の富栄養化の程度の指標と解釈され，数値が大きいほど底質の悪化が進んでいることを表している。さらに，

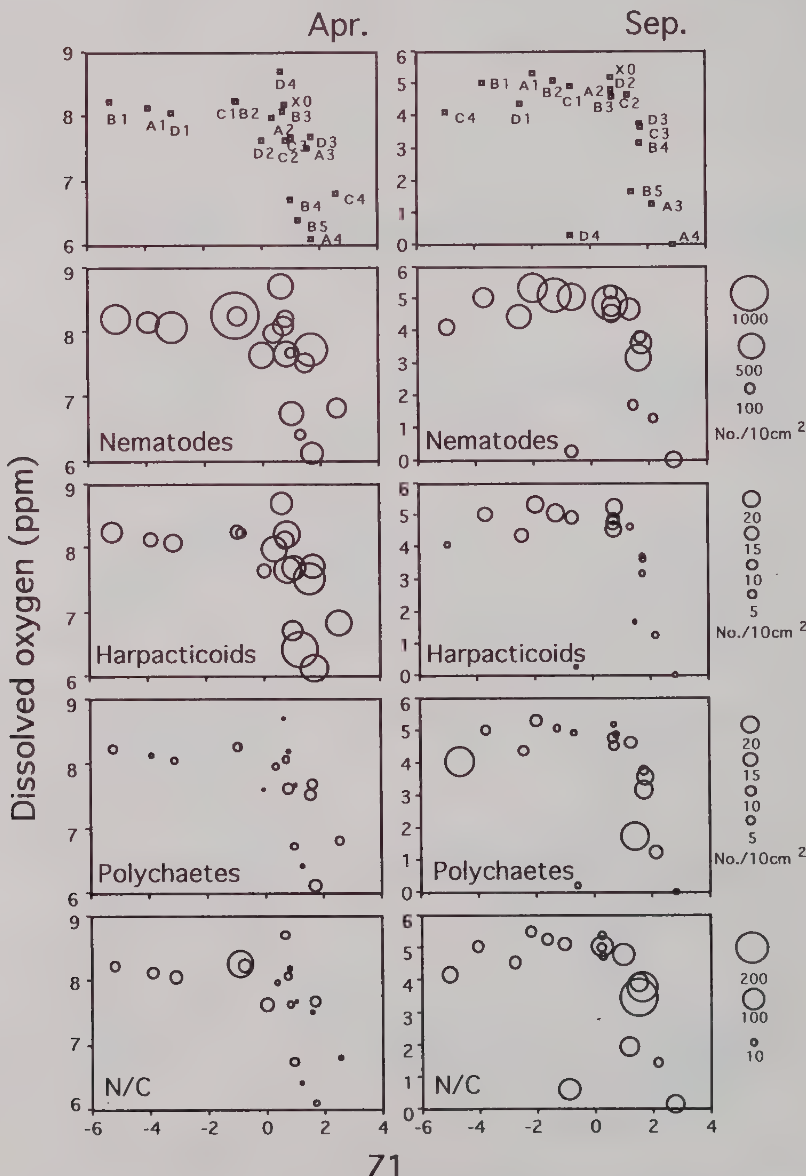


Fig.7. Abundance of nematodes, harpacticoids, polychaetes and the nematode/copepod ratio as a function of Z1 (the first principal component from the Principal Components Analysis for mud content, ignition loss, total sulphide, total organic carbon and total nitrogen) and the dissolved oxygen contents.

Z1をX軸にとり，Y軸に季節によって変化し，生物に大きな影響を及ぼす底層水のDOをとって各定点をプロットした。また各定点のプロットを線虫類，ハルパクチクス類，多毛類の生息密度およびN/C比の大きさで表した（Fig.7）。4月の線虫類，多毛類の生息密度は，Z1の大きさや底層水のDOとの間に明瞭な関係はみられなかった。ハルパクチクス類はZ1が0～2の間の比較的有機物濃度の高い富栄養化した底質に多く，N/C比はZ1が0～2，DOが7ppm以下の範囲で低かった。9月の線虫類の生息密度は底層水のDOが2ppm以上，Z1が−4～2の範囲で高かった。ハルパクチクス類はDOが4 ppm以上でZ1が−4～1，多毛類はDOが1～4ppmでZ1が1～2の範囲で高かった。N/C比は底層のDOが2ppm以上では，Z1が大きくなるにつれて上昇する傾向があった。

考　　察

大阪湾は北部と東部に大都市を抱え，湾奥の淀川水系からは大量の有機物を含んだ河川水が流入している。また，水深20mを境にして東西に分けられ，東部では弱い潮流が時計回りに流れ成層が発達しているが，西部では明石海峡の影響を受けて潮流が速く，海域の中央部で渦を巻いている（藤原 1995）。大阪湾の底質環境はこれらの地形的，物理的な要素を強く反映し，水深20m以深ではやや底質が粗いが，それ以浅では極めて泥分率の高い泥地であった。IL，TOC，TSは湾東部の湾奥の沿岸で高く沖合になるにつれて低下し，底層水のDOは沿岸部で低く沖合にいくにつれて上昇した。沖合の渦の中心部に相当する海域では，特異的に有機物濃度，TSの上昇がみられた。また，季節的にみると9月は4月に比べIL，TSが沿岸部で上昇し，湾奥部では著しく貧酸素化した。このように大阪湾の底質環境は北東部の湾奥部で最も富栄養化が進行し，水平的にも季節的にも異なっていることから，底質環境の変化がメイオベントス動物群の分布に様々な影響を与えていることが予測される。

メイオベントスの生息密度は水温，DO，底質の粒度組成，有機物濃度および食物等，様々な要因によって影響され，それを構成する動物群によっても違いがある（Hulings and Gray 1976，Bell 1980，Giere 1993）。メイオベントスの中で80％以上を占めた線虫類の生息密度には，4月と9月の時期的な差は認められなかった。しかし9月の沿岸部の生息密度は低く，大阪湾の線虫類の生息密度は底層のDOが2 ppm以上では底質の富栄養化の程度に左右されないが，それ以下となる場合には減少する傾向があった(Fig.7)。広島湾においても貧酸素化の著しい沿岸部で9月に最低密度が認められた（板岡・玉井 1993）。これらのことから線虫類は基本的に底質の有機汚染に対する耐性が高いが，極端な貧酸素化は高い耐性をもつ線虫類にとってもその生存に対して不利に働くと推定される。

ハルパクチクス類の生息密度は9月に比べ4月の方が高く，4月は比較的有機物濃度の高い沿岸部で高いが，9月は逆に沖合で高く沿岸部にいくほど低下する傾向を示した。さらにこの動物群は線虫類に比べDOの低下に対する耐性が低く，4 ppm以下になると生息密度が著しく減少する傾向がみられた(Fig.7)。このことからハルパクチクス類はDOの高い時期には有機物濃度の高い底質に多くなるが（Sandulli and de Nicola 1990），貧酸素に対する耐性が低い（Raffaelli 1982，Amjad and Gray 1983）ために，通常夏季に増加する(Shiells and Anderson 1985，Sandulli and de Nicola 1990）にもかかわらず，底層水が貧酸素化する9月には減少すると考えられる。

多毛類の生息密度は4月よりも9月の方が高く，9月には無酸素となった湾奥の一部を除いて沖合いよりも沿岸部で高密度となった。このことは，汚染程度の低い海域では通常春から夏にかけて生息密度が上昇することおよび有機汚染に強い種類の多毛類は8月から10月にかけて生息密度のピークをもつためとおもわれる（玉井 1982)。しかし多毛類はほとんどがマクロベントスの範疇に入り，メイオベントスに分類されるのは小型の種がわずかであることから，個体数も少なくメイオベントスに含まれる多毛類を用いた環境指標を考えるには問題がある。

以上のことから，1)メイオベントスを環境指標として利用しようとする場合には，採集個体数が比較的多く，かつほとんどの個体がメイオベントスサイズに含まれる線虫類とハルパクチクス類を対象動物群として考慮することが適当であること，2)DOが高い場合には底質中の有機物濃度が高いことは両動物群の生息に対して不利な条件とはならず，特にハルパクチクス類にとってはそのことはむしろ有利に働いていること，3)線虫類もハルパクチクス類も底層水の貧酸素化の影響を受け，生息密度は低下するが，線虫類はハルパクチクス類よりも貧酸素耐性が高く，この差を利用した環境評価ができる可能性があること，の3点が指摘できる。

したがって，Raffaelli and Mason (1981) によって提案された線虫類とハルパクチクス類の生息密度の比，N/C比をわが国における環境評価手法の一つとしてとり入れることは，上記のような観点からみて妥当性がある。そこで，この点を今回の大阪湾の調査結果にもとづいて検討してみた。

大阪湾のN/C比の分布は4月では沖合と沿岸で差はなく (Fig.6)，底質環境およびDOとの関係を解析すると，4月のDOの範囲ではZ1の値が高い海域，すなわち底泥の有機物濃度の高いところでN/C比が低い傾向がみられ，全体的に値は低く1定点を除いて50を越えることはなかった (Fig.7)。しかし，9月では底層水が貧酸素化した沿岸で高く (Fig.6)，DO 2 ppmまではDOの低下とともに高くなる傾向がみられた (Fig.7)。N/C比は水深や底質の粒度組成によっても変化する例も知られているが (Raffaelli and Mason 1981)，大阪湾においてはこれらの影響はみられなかった。このことから大阪湾ではDOがN/C比の変動の主な要因と推察され，N/C比が高いことはDOが低下し底質環境が悪化したことを示すと考えられる。しかし，一方次のような問題点が指摘される。1)ハルパクチクス類の個体数が少ないためにN/C比の変動が大きく，4月の定点C1でみられるようにDOが4ppm以上でもN/C比が100以上の値となることがあった。2)DO2ppm以下では線虫類の生息密度も低下するために汚染されているにもかかわらずN/C比が低下する傾向があった。3)これらのために大阪湾のN/C比からはDO低下の著しい海域とそうでない海域を区別する値を決めることができなかった。1)についてはRaffaelli and Masonも指摘しており，沿岸の浅海域における泥分率の高い海域では，汚染されていない地点でも高い値を示すことがあるが，決して汚染域でみられるような極端に高い値となることはないと述べている。2)についてはDOが2 ppm以下に減少するような富栄養化が進行した全ての海域でみられる現象なのかどうか検討する必要がある。したがってこれらのことを考慮すると，N/C比の値だけから海域の環境を判断することは危険であるが，少なくともDOの低下がN/C比を上昇させる主な要因であると推察され (Amjad and Gray 1983)，N/C比が100以上を示す海域では，DOが継続的にかなり低下し，底生動物群集に悪影響を及ぼすほど底質環境が悪化している可能性が指摘できる。

また，広島湾では線虫類の鉛直分布が底質環境を表す指標の一つとして提案された (板岡・玉井　1993)。しかし大阪湾における線虫類の鉛直分布は，どの海域でも0－2cm層に集中し極端に表層に偏っていた。線虫類の鉛直分布は粒度組成，TS，底泥中のDOおよび他の底生動物の影響を受けるといわれ (Bell and Coen 1982, Jensen 1984, Heip *et al.*, 1985, Lorenzen *et al.*, 1987)，広島湾ではそれが底層水の貧酸素化とTSの上昇に起因すると考えられた (板岡・玉井 1993)。しかし，大阪湾では海域による変化がなく，大阪湾全海域に共通する原因があると推察される。

以上のことから大阪湾のメイオベントスの分布は，DOが豊富な時期には底質環境に大きく左右されることはないが，底層水が貧酸素化する時期には各動物群の貧酸素耐性の違いが分布に反映されると考えられた。中でも線虫類とハルパクチクス類は貧酸素耐性に明らかな差がみられ，このことを利用したN/C比は底質の状態を知る一つの目安となると思われる。しかし，底質環境指標として使用するにはメイオベントスの群集構造に影響を及ぼす要因の研究が未だ不十分であるためさらに検討が必要である。

謝　辞

本研究を行うにあたり，現場調査にご協力いただいた，南西海区水産研究所調査船しらふじ丸の土谷貞征船長はじめ乗組員の皆様および赤潮環境部漁場保全研究室の重田利拓技官に深く感謝申し上げます。また，本原稿を御校閲いただいた赤潮環境部主任研究官の神山孝史博士に厚く御礼申し上げます。

文　献

Amjad, S. and J. S. Gray, 1983: Use of the nematode-copepod ratio as an index of organic pollution. *Mar. Pollut. Bull.*, **14**(5), 178-181.

Bell, S. S. 1980: Meiofauna-macrofauna interactions in a high salt marsh habitat. *Ecol. Monogr.*, **50**(4), 487-505.

Bell, S. S. and L. D. Coen, 1982: Investigations on epibenthic meiofauna I. Abundances on and repopulation of the tube-caps of *Diopatra cuprea* (Polychaeta: Onuphidae) in a subtropical system. *Mar. Biol.* **67**, 303-309.

Coull, B. C., G. R. F. Hicks and J. B. J. Wells, 1981: Nematode/copepod ratios for monitoring pollution: A rebuttal. *Mar. Pollut. Bull.* **12**(11), 378-381.

Escaravage, V., M. E. Garcia and J. Castel, 1989: The distribution of meiofauna and its contribution to detritic pathways in tidal flats (Arcachon Bay, France). *Sci. Mar.* **53**, 551-559.

藤原建紀，1995：大阪湾の生態系を支配する流れの構造．瀬戸内海，**2-3**，85-93.

Giere, O. 1993: Meiobenthology. Springer-Verlag, Berlin, 328pp.

Hedges, J. I. and J. H. Stern, 1984: Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. *Limnol. Oceanogr.*, **29**(3), 657-663.

Heip, C., M. Vincx and G. Vranken, 1985: The ecology of marine nematodes. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **23**, 399-489.

Hulings, N. C. and J. S. Gray, 1976: Physical factors controlling abundance of meiofauna on tidal and atidal beaches. *Mar. Biol.*, **34**, 77-83.

板岡　睦・玉井恭一，1993：広島湾におけるメイオベントスの群集構造と富栄養化．ベントス学会誌．**45**，19-28.

Jensen, P., 1984: Ecology of benthic and epiphytic nematodes in brackish waters. *Hydrobiologia*, **108**, 201-217.

木俣正夫・河合　章・石田祐三郎，1960：海底泥土の採取法．日水誌.，**26**(12)，1227-1230.

Lambshead, P. J. D., 1984: The nematode/copepod ratio : Some anomalous results from the Firth of Clyde. *Mar. Pollut. Bull.*, **15**(7), 256-259.

Lorenzen, S., M. Prein and C. Valentin, 1987: Mass aggregations of the free-living marine nematode *Pontonema vulgare* (Oncholaimidae) in organically polluted fjords. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **37**, 27-34.

Montagna, P. A., 1984: In situ measurement of meiobenthic grazing rates on sediment bacteria and edaphic diatoms. *Mar. Ecol. Prog.* Ser. **18**, 119-130.

Raffaelli, D., 1981: Monitoring with meiofauna-a reply to Coull, Hicks and Wells (1981) and additional data. *Mar. Pollut. Bull.*, **12**(11), 381-382.

Raffaelli, D., 1982: An assessment of the potential of major meiofauna groups for monitoring organic pollution. *Mar. Environ. Res.* **7**, 151-164.

Raffaelli, D., 1987: The behaviour of the nematode/copepod ratio in organic pollution studies. *Mar. Environ. Res.* **23**, 135-152.

Raffaelli, D. and C. F. Mason, 1981: Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Pollut. Bull.*, **12**(5), 158-163.

Sandulli, R. and M. De Nicola-Giudici, 1990: Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Pollut. Bull.*, **21**(3), 144-153.

Shiells, G. M. and K. J. Anderson, 1985: Pollution monitoring using the nematode/copepod ratio. A practical application. *Mar. Pollut. Bull.*, **16**(2), 62-68.

Snedecor, G. W. and W. G. Cochran, 1967: Statistical Methods. 6th ed., The Iowa State University Press, Ames.
〔畑村又好・奥野忠一・津村善郎共訳，1977：統計的方法．第6刷，岩波書店，東京，546pp.〕

玉井恭一，1982：大阪湾におけるスピオ科の多毛類 *Paraprionospio* sp.(A型)個体群の季節変動と成長．日水誌.，**48**(3)，401-408.

山西良平，1979：かきまぜ法によるメイオベントス抽出の効率．ベントス研会誌，**17/18**，52-58.

Warwick, R. M., 1981: The nematode/Copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar. Pollut. Bull.* **12**, 329-333.

1995年12月12日受理（Accepted on December 12, 1995）
南西海区水産研究所業績A第48号
(Contribution No.A48 from the Nansei National Fisheries Research Institute)
辻野　睦・玉井恭一：南西海区水産研究所
〒739-04 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5
(M. Tsujino, K. Tamai: Nansei National Fisheries Research Institute, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-04, Japan)

BULLETIN OF NANSEI NATIONAL FISHERIES RESEARCH INSTITUTE

is issued each year with one or two numbers. All communications relating to this Bulletin should be addressed to Director. Exchange of publication will be highly appreciated.

Address

The Nansei National Fisheries Research Institute
Director & Administrative Section
Inland Sea Resources Management Division
Resources Enhancement Division
Red Tide Research Division
Maruishi 2-17-5, Ohno-cho, Saeki-gun,
Hiroshima, JAPAN

Pacific Coast Research Division
Sanbashidori 6-1-21, Kochi-shi,
Kochi, JAPAN

〔非売品〕

1996年 3 月 29 日 印 刷　　1996年 3 月 29 日 発 行

広島県佐伯郡大野町丸石2－17－5
発 行 者　水産庁南西海区水産研究所
藤 本　實

印 刷 所　たくみ印刷株式会社

No.29

BULLETIN OF NANSEI NATIONAL FISHERIES RESEARCH INSTITUTE

Contents

OHNO, HIROSHIMA, JAPAN March 1996